

Original document

Scanning electron microscope with reconfigurable aperture means

Publication number: JP2004524668 (T)

Publication date: 2004-08-12

Inventor(s):

Applicant(s):

Classification:


- international: H01J37/09; H01J37/141; H01J37/18; H01J37/28; H01J37/301; H01J37/02; H01J37/09; H01J37/10; H01J37/28; H01J37/30; (IPC1-7): H01J37/28; H01J37/09; H01J37/141; H01J37/18


- European: H01J37/28; H01J37/301


Application number: JP20020584363T 20020419


Priority number (s): GB20010009704 20010420; WO2002GB01901 20020419


Also published as:


 JP4129399 (B2)

 GB2374723 (A)

 GB2374723 (B)

 US2004173747 (A1)

 US7186976 (B2)

 WO02086942 (A1)

[<< less](#)

[View INPADOC patent family](#)

[View list of citing documents](#)

Abstract not available for JP 2004524668 (T)

Abstract of corresponding document: **GB 2374723 (A)**

A reconfigurable scanning electron microscope (RSEM) 100 comprising: <SL>(a) a gun assembly 110 and electron optical column 120 for generating an electron beam 600; (b) an electron detector 550 for detecting emissions from the sample 190; (c) a display 170 for generating an image of the sample 190.; <SL> The RSEM 100 is distinguished in that it further includes aperture bearing members 500, 520 each member including an associated electron-beam transmissive aperture, for at least partially gaseously isolating electron optical column 110 from the sample 190, thereby enabling the RSEM 100 to be reconfigurable as a high-vacuum scanning electron microscope and also as an environmental scanning electron microscope, the RSEM 100 being reconfigurable to include no aperture members, one aperture member 500, 750 (see fig 2) and a plurality of aperture members 500, 750, 520, 850, 860 (see fig 2).



The EPO does not accept any responsibility for the accuracy of data and information originating from other authorities than the EPO; in particular, the EPO does not guarantee that they are complete, up-to-date or fit for specific purposes. Description of corresponding document: **GB 2374723 (A)**

<Desc/Clms Page number 1>

[Translate this text](#)

SCANNING ELECTRON MICROSCOPE Technical Field of the Invention The present invention relates to scanning electron microscopes (SEMs). In particular, but not exclusively, the invention relates to scanning electron microscopes capable of operating as environmental scanning electron microscopes

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

再構成可能な走査型電子顕微鏡であって、

(a) 電子プローブを生成し、サンプルにわたってプローブを走査するための電子光学手段と、

(b) 走査された電子プローブ照射に応答したサンプルからの放出を検出するための検出手段とを含み、

前記顕微鏡はさらに、前記サンプルから前記電子光学手段を少なくとも部分的にガス隔離するためのアパーチャ手段を含み、これにより、前記顕微鏡が高真空走査型電子顕微鏡および環境制御型走査型電子顕微鏡として再構成可能であることを可能にし、前記アパーチャ手段は、アパーチャを 0 個、1 個および複数個含むよう再構成可能であることを特徴とする、再構成可能な走査型電子顕微鏡。

10

【請求項 2】

前記アパーチャ手段は、前記電子光学手段の対物レンズにおいてキャリア部材を含み、前記キャリア部材は、その中に 1 つ以上のアパーチャ軸受部材を再構成可能に収容するための特徴を含む、請求項 1 に記載の顕微鏡。

【請求項 3】

前記顕微鏡は、前記電子光学手段とサンプルを収容するチャンバとの間に中圧の空洞を含み、前記チャンバは、前記キャリア部材を介して前記電子光学手段と気体によって連通している、請求項 2 に記載の顕微鏡。

20

【請求項 4】

前記対物レンズは下方プレートを含み、これにより前記対物レンズの下方の磁極片と前記下方プレートとの間に前記中圧の空洞を規定する、請求項 3 に記載の顕微鏡。

【請求項 5】

前記アパーチャ手段は、第 1 および第 2 のアパーチャ軸受部材を含み、前記第 1 の部材は、前記中圧の空洞から前記電子光学手段を実質的にガス隔離するのに役立つ第 1 のアパーチャを含み、前記第 2 の部材は、前記中圧の空洞から前記チャンバを実質的にガス隔離するのに役立つ第 2 のアパーチャを含む、請求項 4 に記載の顕微鏡。

【請求項 6】

前記電子光学手段と、前記中圧の空洞と、前記チャンバとを差動的に排気するための真空ポンプ手段を含む、請求項 3、4 または 5 に記載の顕微鏡。

30

【請求項 7】

前記キャリア部材および前記アパーチャ軸受部材は、実質的に非強磁性材料から製作される、請求項 5 または 6 に記載の顕微鏡。

【請求項 8】

前記キャリア部材は、前記アパーチャ軸受部材とは異なる材料から製作される、請求項 5、6 または 7 に記載の顕微鏡。

【請求項 9】

前記キャリア部材および前記アパーチャ部材の材料は、使用中に、前記アパーチャ部材のうち 1 つ以上の、前記キャリア部材への真空溶接を避けるのに十分に異なる、請求項 8 に記載の顕微鏡。

40

【請求項 10】

前記キャリア部材はベリリウム銅合金から製作され、前記アパーチャ軸受部材はリン青銅合金から製作される、請求項 7、8 または 9 に記載の顕微鏡。

【請求項 11】

前記アパーチャ部材は、協働するねじ山によって前記キャリア部材内に取外し可能に保持される、請求項 5 から 10 のいずれかに記載の顕微鏡。

【請求項 12】

前記アパーチャ軸受部材は、前記キャリア部材の対応する円錐台形協働面に合せるための円錐台形面を含み、これにより、前記アパーチャ部材の前記対物レンズとの正確な空間

50

的整列を確実にする、請求項 5 から 11 のいずれかに記載の顕微鏡。

【請求項 13】

前記第 1 のアパーチャ部材の円錐台形面は、前記第 1 の部材の中心縦軸に対して $10^\circ \sim 15^\circ$ の範囲の角度にわたる、請求項 12 に記載の顕微鏡。

【請求項 14】

前記第 1 の部材の円錐台形面は、前記第 1 の部材の中心軸に対して実質的に 12° の角度にわたる、請求項 12 または 13 に記載の顕微鏡。

【請求項 15】

前記第 2 のアパーチャ部材の円錐台形面は、前記第 2 の部材の中心縦軸に対して $15^\circ \sim 30^\circ$ の範囲の角度にわたる、請求項 12 から 14 のいずれかに記載の顕微鏡。

10

【請求項 16】

前記第 2 のアパーチャ部材の円錐台形面は、前記第 2 の部材の中心縦軸に対して実質的に 20° の角度にわたる、請求項 12 から 15 のいずれかに記載の顕微鏡。

【請求項 17】

前記第 1 の部材は、 $100\mu\text{m} \sim 400\mu\text{m}$ の範囲の直径を有する第 1 の電子ビーム透過アパーチャを含む、請求項 5 から 16 のいずれかに記載の顕微鏡。

【請求項 18】

前記第 1 のアパーチャは、直径が実質的に $200\mu\text{m}$ である、請求項 17 に記載の顕微鏡。

【請求項 19】

前記第 1 のアパーチャは、深さが $0.5\text{mm} \sim 1.5\text{mm}$ の範囲である、請求項 5 から 18 のいずれかに記載の顕微鏡。

20

【請求項 20】

前記第 1 のアパーチャは、深さが実質的に 1mm である、請求項 19 に記載の顕微鏡。

【請求項 21】

前記第 2 のアパーチャ部材は、 $200\mu\text{m} \sim 800\mu\text{m}$ の範囲の直径を有する第 2 の電子ビーム透過アパーチャを含む、請求項 5 から 20 のいずれかに記載の顕微鏡。

【請求項 22】

前記第 2 のアパーチャは、直径が実質的に $500\mu\text{m}$ である、請求項 21 に記載の顕微鏡。

30

【請求項 23】

前記第 2 のアパーチャを含むダイヤフラムは、止め輪により、前記第 2 のアパーチャ部材において適所に保持される、請求項 21 または 22 に記載の顕微鏡。

【請求項 24】

前記第 2 のアパーチャは、プラチナおよびモリブデンのうちの少なくとも 1 つから製作されるダイヤフラムに備えられる、請求項 21、22 または 23 に記載の顕微鏡。

【請求項 25】

前記第 2 のアパーチャ部材は、前記第 2 の部材の内部領域を前記中圧の空洞と気体によって連通させるための複数の径方向の孔を含む、請求項 5 から 24 のいずれかに記載の顕微鏡。

40

【請求項 26】

前記複数の孔は角度的に等間隔に配置される、請求項 25 に記載の顕微鏡。

【請求項 27】

前記複数の孔は 8 個の孔を含む、請求項 25 または 26 に記載の顕微鏡。

【請求項 28】

前記複数の孔の各々は、直径が $0.8\text{mm} \sim 1.1\text{mm}$ の範囲である、請求項 25、26 または 27 に記載の顕微鏡。

【請求項 29】

前記複数の孔の各々は、直径が実質的に 1mm である、請求項 28 に記載の顕微鏡。

【請求項 30】

50

前記キャリア部材は、冷間圧入によって前記対物レンズにおいて保持される、請求項 2 から 29 のいずれかに記載の顕微鏡。

【請求項 31】

前記第 1 のアパーチャ部材は、前記キャリア部材に対する前記第 1 の部材の据付けまたは取外しの際に工具と係合させるためのスロット特性を含む、請求項 5 から 30 のいずれかに記載の顕微鏡。

【請求項 32】

前記第 2 のアパーチャ部材は、前記キャリア部材に対する前記第 2 の部材の据付けまたは取外しの際に工具と係合させるために、その外面上に複数の平面を含む、請求項 5 から 31 のいずれかに記載の顕微鏡。

10

【請求項 33】

前記検出手段は、前記下方プレートに取付けられ、かつ前記サンプルに向かって配向される検出面を提示する環状の検出器の形状である、請求項 4 に記載の顕微鏡。

【請求項 34】

前記下方プレートは、アルミニウムおよびデュラロイのうちの少なくとも 1 つから製作される、請求項 4 に記載の顕微鏡。

【請求項 35】

前記検出手段は、電子感光性フォトダイオード、マイクロチャネルプレート、シンチレータ光電子倍增管の組合せ、および電氣的に絶縁された導体プレートの中の少なくとも 1 つを含む、請求項 4 に記載の顕微鏡。

20

【請求項 36】

前記電子光学手段は、プローブを生成するのに用いる電子ビームを生成するための、熱電子タングステンワイヤ電子エミッタ、熱電子六硼化ランタン電子エミッタ、および熱電界エミッタのうちの 1 つ以上を含む、請求項 1 から 35 のいずれかに記載の顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

発明の技術分野

この発明は走査型電子顕微鏡 (SEM) に関する。特に、限定するものではないが、この発明は、環境制御型走査型電子顕微鏡 (ESEM) として、および従来の高真空 SEM と

30

しても動作可能な走査型電子顕微鏡に関する。

【背景技術】

【0002】

発明の背景

ESEM は、100 Pa のオーダ以上の圧力で維持されるサンプルを観察することができるという点で、高真空 SEM とは区別される。

【0003】

高圧、たとえば、実質的に 1000 mBar、760 Torr、101.3 kPa の大気圧で維持されるサンプルを走査するよう従来の走査型電子顕微鏡 (SEM) を適応させることは、米国特許第 5 250 808 号から公知である。このように適応された SEM は、電子ビームを生成するための電子銃と、電子ビームを縮小および走査するための、関連する電子ビームデフレクタを備えた 1 つ以上の電磁レンズと、縮小された電子ビームを上方で走査することにより観察されるサンプルを収納するためのサンプルチャンバと、中に真空を生じさせるよう装置を排気するための真空ポンプシステムと、走査された縮小電子ビームによる衝撃に回答してサンプルから放出される二次および後方散乱電子を検出するための 1 つ以上の電子感知アセンブリと、SEM を制御するための電子制御システムとを含み、この制御システムは 1 つ以上の画像表示装置を含む。加えて、適応された SEM は、チャンバに最も近い電磁レンズ、すなわち対物レンズにおいて、一連の差動式ポンプ型ダイヤフラムを含む。各ダイヤフラムはそこに、電子ビームが通ることのできるアパーチャを含む。ダイヤフラムは、適応された SEM に永久的に設置されるように設計される

40

50

。ダイヤフラムは、SEMの真空ポンプポートと連通する少なくとも2つの内部通路を規定する。中でも、適応されたSEMは、その一連の差動式ポンプ型ダイヤフラムなしでは機能しないように設計されている。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ダイヤフラムを含み、かつ高圧でサンプルを維持することにより、適応されたSEMの動作に問題が生じる。

【0005】

このような問題は、たとえば、サンプルを取囲むより高圧の領域において分散する電子に起因し、これにより電子プローブがぼやけることとなる。さらに、差動式ポンプ型ダイヤフラムを含むことにより、対物レンズ作動距離がより長くなるという制約が課され、このために電子プローブの球面収差が増す。さらに、極端な場合、差動式ポンプ型ダイヤフラムは電子ビーム半角制限要因となることがあり、これにより顕微鏡の光学アライメントに問題が生じ、利用可能な電子プローブ電流が減じられるおそれがある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

発明の概要

この発明に従って、再構成可能な走査型電子顕微鏡が提供され、この再構成可能な走査型電子顕微鏡は、

(a) 電子ビームを生成し、この電子ビームを縮小して電子プローブを生成し、サンプルにわたってこのプローブを走査するための電子光学手段と、

(b) 走査された電子プローブ照射にตอบสนองしたサンプルからの放出を検出し、この放出の大きさを示す対応する検出された信号を生成するための検出手段とを含み、

この顕微鏡がさらに、サンプルから電子光学手段を少なくとも部分的にガス隔離するためのアパーチャ手段を含み、これにより、この顕微鏡を高真空走査型電子顕微鏡および環境制御型走査型電子顕微鏡として再構成可能にすることができ、このアパーチャ手段はアパーチャを0個、1個および複数個含むように再構成可能であることを特徴とする。

【0007】

再構成可能な顕微鏡は、高真空SEMとして機能することとESEMとして機能することとの間において様々な度合で構成可能であり得るという利点を提供する。

【0008】

こうして、ESEMとして機能することと、 10^{-6} Torr以下のオーダの高真空中で動作するより従来のSEMとしても機能することとの間において様々な度合で選択的に再構成可能であるように走査型電子顕微鏡を設計することが有益であることを発明者は理解している。

【0009】

アパーチャ手段は、好ましくは、電子光学手段の対物レンズに保持されるキャリア部材を含み、このキャリア部材は、そこに1つ以上のアパーチャ軸受部材を再構成可能に收容するための特性を含む。キャリア部材は、顕微鏡を再構成する際に1つ以上のアパーチャ部材を收容するための簡便かつ堅固な手段を提供することができ、これにより、この顕微鏡を使用中に堅固で耐久性のあるものにすることができる。

【0010】

顕微鏡をESEMとして動作させる際に段階的に圧力を下げることが好ましい。こうして、中圧の空洞が、好ましくは、電子光学手段とサンプルを收容するチャンバとの間に含まれ、このチャンバは、キャリア部材を介して電子光学手段へと気体により連通する。

【0011】

対物レンズの基部周りの空間は比較的制限されており、したがって中圧の空洞を空間的に効率的に設計することが有利である。こうして、対物レンズは好ましくは下方プレートを含み、これにより、対物レンズの下方磁極片とこの下方プレートとの間に中圧の空洞が規

10

20

30

40

50

定されるようにする。

【0012】

好都合なことには、アパーチャを含む微細なダイヤフラムを処理する必要をなくすために、手で処理するのに都合の良い寸法のアパーチャ軸受部材が用いられる。こうして、顕微鏡は好ましくは第1および第2のアパーチャ軸受部材を含み、第1の部材は、中圧の空洞から電子光学手段を実質的にガス隔離する役割を果たす第1のアパーチャを含み、第2の部材は、中圧の空洞からチャンバを実質的にガス隔離する役割を果たす第2のアパーチャを含む。

【0013】

サンプルから電子光学手段へ漸進的に圧力を減ずるために、顕微鏡は好ましくは、電子光学手段、中圧の空洞およびチャンバを差動的に排気するための真空ポンプ手段を含む。 10

【0014】

アパーチャ軸受部材を据付ける際に対物レンズの磁界に焦点を合わせる電子ビームの歪みを避けることが有利である。したがって、キャリア部材およびアパーチャ部材は、好ましくは、実質的に非強磁性材料から製作される。

【0015】

キャリア部材は、好ましくは、アパーチャ部材とは異なる材料から製作されて、それらの間で真空溶接が起こり得るのを防ぐ。さらに好ましくは、キャリア部材はベリリウム銅合金から製作され、アパーチャ部材はリン青銅合金から製作される。

【0016】

顕微鏡を頻繁に再構成できるようにするために、多数回の再構成の後、アパーチャ部材をキャリア部材内に確実に保持することが好ましい。したがって、アパーチャ部材は、好ましくは、協働するねじ山によってキャリア部材内に取外し可能に保持される。 20

【0017】

さらに、プローブを形成する際に収差を避けるためには、アパーチャ部材の正確な同軸整列が望ましい。こうして、アパーチャ部材は、好ましくは、キャリア部材の対応する円錐台形協働面に合わせるための円錐台形面を含み、これにより、アパーチャ部材の対物レンズとの正確な空間的整列が確実となる。

【0018】

好ましくは、第1のアパーチャ部材の円錐台形面は、第1の部材の中心縦軸に対して10°～15°の範囲の角度にわたる。さらに好ましくは、第1のアパーチャの円錐台形面は、第1の部材の中心軸に対して実質的に12°の角度にわたる。 30

【0019】

同様に、第2のアパーチャ部材の円錐台形面は、好ましくは、第2の部材の中心縦軸に対して15°～30°の範囲の角度にわたる。さらに好ましくは、第2のアパーチャ部材の円錐台形面は、第2の部材の中心縦軸に対して実質的に20°の角度にわたる。

【0020】

顕微鏡をESEMとして動作させるのに好適なアパーチャ寸法を選択することが簡単ではないことを発明者は理解している。好ましくは、気体の流体抵抗と電子ビームの透過との間の妥協点として、第1の部材は、直径の範囲が100μm～400μmである第1の電子ビーム透過アパーチャを含む。さらに好ましくは、第1のアパーチャの直径は実質的には200μmである。同様に、第1のアパーチャは、有利になるように、0.5mm～1.5mmの深さを有し得る。さらに好ましくは、第1のアパーチャは、深さが実質的に1mmである。1.5mmを超える深さでは機械加工が難しくなるが、0.5mm未満の深さでは気体の流体抵抗が不十分となる。 40

【0021】

同様に、第2のアパーチャ部材は、好ましくは、直径の範囲が200μm～800μmである第2の電子ビーム透過アパーチャを含む。さらに好ましくは、第2のアパーチャの直径は実質的には500μmである。好都合なことには、第2のアパーチャを含むダイヤフラムは、止め輪により、第2のアパーチャ部材において適所に保持される。さらに、第2 50

のアーチャーを含むダイヤフラムは、好ましくは、プラチナおよびモリブデンのうちの少なくとも1つから製作される。プラチナおよびモリブデンは、高真空装置と適合性のある、機械的に安定した材料である。

【0022】

第2のアーチャー部材は、好ましくは、第2の部材の内部領域を中圧の空洞と気体によって連通させるための複数の径方向の孔を含む。このような構成により、中圧の空洞と第2の部材の内部領域とから気体を十分に排気させることが容易となる。

【0023】

複数の孔は、好ましくは、角度的に等間隔に配置される。さらに好ましくは、複数の孔は、排気効率と第2の部材の機械的強度との間の妥協点として8個の孔を含む。複数の孔の各々は、好ましくは、直径が0.8 mm~1.1 mmの範囲である。さらに好ましくは、複数の孔の各々は直径が実質的に1 mmである。

【0024】

キャリア部材およびアーチャー部材は、好ましくは、使用の際に対物レンズにおいて保持される。さらに、対物レンズにキャリア部材およびアーチャー部材を含むことによって、好ましくは、対物レンズの性能は低下しないはずである。対物レンズの性能を構成するプローブに極めて重要なのは、その磁気回路の下方ボアの質である。製造中に、このボアを注意深くホーニング加工およびラップ仕上げして研磨仕上げし、完全な真円度からミクロン以内に機械加工する。こうして、対物レンズの性能を損なわないために、好ましくは、冷間圧入によってキャリアを対物レンズにおいて保持することを発明者は理解している。

【0025】

さらに、顕微鏡を使いやすくするためには、キャリア部材に対するアーチャー部材の据付けおよび取外しを容易にすることが、実際に考慮すべき点である。したがって、第1のアーチャー部材は好ましくはスロット特性を含み、キャリア部材に対する第1の部材の据付けおよび取外しの際に工具と係合させるようにする。同様に、第2のアーチャー部材は好ましくはその外面上に複数の平面を含み、キャリア部材に対する第2の部材の据付けおよび取外しの際に工具と係合させるようにする。

【0026】

対物レンズの磁気回路を著しく妨害しないよう、中圧の空洞を規定する下方プレートは非鉄材料であることが望ましい。こうして、下方プレートは、好都合なことには、アルミニウムおよびデュラロイのうちの少なくとも1つから製作される。これらの材料はともに非強磁性である。デュラロイはアルミニウムおよび銅の合金である。

【0027】

顕微鏡においては、電子プローブの衝撃に応答してサンプルから放出される後方散乱および2次電子により、サンプルの性質に関して異なる情報がもたらされる。したがって、顕微鏡は、好ましくは、放出された電子を検出するための2種類以上の検出器を含む。さらに好ましくは、検出手段は、電子感光性フォトダイオード、マイクロチャネルプレート、シンチレーター光電子倍增管の組合せ、および電氣的に絶縁された導体プレートのうちの少なくとも1つを含む。

【0028】

十分に排気した場合、電子光学手段内で、 10^{-6} Torr以下の圧力の高真空を達成することができる。このような真空により、顕微鏡が複数の異なった種類の電子源を用いることが可能となる。さらに好ましくは、電子光学手段は、プローブを生成するのに用いる電子ビームを生成するために、熱電子タングステンワイヤ電子エミッタ、熱電子六硼化ランタン電子エミッタ、および熱電界エミッタのうちの1つ以上を含む。

【0029】

この発明の実施例は、例示のためだけでなく、添付の図面に関連して記載される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

発明の実施例の詳細な説明

従来のSEMは、それらのサンプルを 10^{-6} Torr以下のオーダの圧力の高真空中で維持しなければならないという問題を有する。たとえば、 10^{-4} Torrのより高い動作圧を用いる場合、それらの電子銃において電気系統の故障が発生するおそれがあり、電子光学コラムに沿って空気分子によって分散する電子ビームにより、そのサンプルにおいて生成されるプローブが著しく広がることとなる。さらに、これらのコラムにおける微量の酸素がエミッタと反応するので、これらの銃で用いられる電子エミッタの動作寿命が減じられる。

【0031】

さらに、従来のSEMにおけるサンプルは、観察前に特別な準備を必要とする。サンプルから水分を取除かねばならず、次いで、これに導電材料の薄膜、たとえば100 Å厚の層のスパッタリングされたアルミニウムを貼り付けて、電子照射にさらされる際にサンプルが帯電するのを防ぐようにする。ある含水サンプル、たとえば生物組織のサンプルについては、このような準備により、観察されるべき特徴を覆うおそれがあり、このような従来のSEMにおいて、進行中の生物学的プロセスを観察することを妨げる。

【0032】

したがって、環境制御型走査型電子顕微鏡(ESSEM)は、引用によりこの明細書中に援用される、たとえば米国特許第5 250 808号に記載されるように近年開発されており、これは、サンプルを高圧、たとえば大気圧で維持することを可能にし、一方でESSEMの電子光学コラムを高真空、たとえば $10^{-5} \sim 10^{-6}$ Torrのオーダの圧力で動作する。ESSEMは、それらの対物レンズの領域において関連するアパーチャを提供する一連の差動式ポンプ型ダイヤフラムを含み、このアパーチャがESSEMのチャンバとコラムとの間に気体カップリングのみをもたらすという点で、従来のSEMとは区別される。このような各々のESSEMにおいて、ESSEM電子ビームは、ESSEMコラムからダイヤフラムアパーチャを通してESSEMチャンバに届く。

【0033】

ESSEMは、そのサンプルを観察する際に高圧で維持し得るという利点を提供するものの、ESSEMには、従来のSEMに比べて或る欠点があることを発明者は理解している。たとえば、上述の一連の差動式ポンプ型ダイヤフラムを含むことにより、より長い作動距離のせいで、ESSEMの対物レンズが縮小率を減じることとなり、これによりプローブの直径がより大きくなる。さらに、対物レンズの作動距離が長くなると対物レンズの球面収差が増し、これにより結果としてプローブがさらにぼやけることとなる。高真空SEMとして、およびESSEMとしても、ともに機能するよう再構成可能であるようにSEMを設計することが有益であることを発明者はさらに理解している。さらに、動作のSEMモードとESSEMモードとの間で漸進的に切換え可能であることが大いに望ましいことを発明者はさらに理解している。

【0034】

図1では、この発明に従った再構成可能な走査型電子顕微鏡(RSEM)の全体が100で示される。RSEM100は、電子銃アセンブリ110、電子光学コラム120、関連するアパーチャを各々がもたらす1つ以上の取外し可能なダイヤフラムにより範囲が定められる差動ポンプ領域130、サンプルチャンバ140および真空ポンプシステム150を含む。RSEM100はさらに、走査ユニット160、および関連する信号増幅器180を備えた画像表示装置170を含む。チャンバ140は、電気的に絶縁されたステージ(図示せず)上に装着されるサンプル190を含む。RSEM100はさらに、サンプル190にバイアス電位を印加するためのバイアス発生器200と、銃アセンブリ110にバイアス電位を印加するための超高圧(EHT)電源210とを含む。

【0035】

コラム120は、上方の電磁縮小レンズ220と、下方の電磁縮小レンズ230と、最後に、銃アセンブリ110から遠く、チャンバ140に近い電磁対物レンズ240とを含む。縮小レンズ220および230は従来の設計によるものであり、各レンズは電磁石コイル巻線と軟鋼または軟鉄の磁気回路とを含む。各々のレンズ220および230の実質的

に中心の領域では、このコイル巻線を介する電流を流すことによって磁界に焦点の合った電子ビームが生じ得る範囲にわたって、磁気回路の隙間が設けられる。

【0036】

RSEM100内の各部分の相互接続が以下に記載される。

【0037】

銃アセンブリ110、コラム120、差動領域130およびチャンバ140は、垂直方向の積重ねとして共に順々に装着され、図示されるように、銃アセンブリ110が積重ねの頂部、かつチャンバ140が積重ねの底部にされる。銃アセンブリ110およびコラム120は排気のために結合され、それぞれポートAおよびポートBを介してポンプシステム150に接続される。銃アセンブリ110は、その陰極がEHT電源210の負出力端子 T_1 に電氣的に接続される。電源210の正出力端子 T_2 はRSEM100の接地電位に接続される。EHT電源210は、500V～30kVの範囲で変化し得る出力電位をもたらすよう設計される。

10

【0038】

銃アセンブリ110は、好都合なことには、タングステンワイヤ電子エミッタ300を用いる。しかしながら、アセンブリ110は、代替的には、タングステンワイヤエミッタ300ではなく、抵抗加熱または電子衝撃加熱による六硼化ランタン(LaB₆)結晶電子エミッタを用いることができる。アセンブリ110はまた、アセンブリ110からの電子放出を制御するのに用いるためのウェーネルト電極310を含む。さらに、アセンブリ110は、実質的に接地電位である陽極電極320を含み、この陽極電極320は中心孔330を含み、この中心孔330を通して、エミッタ300から放出された電子ビーム600がコラム120に伝搬する。動作においては、電子ビーム600は、陽極電極320およびウェーネルト電極310のそれぞれによって、エミッタ300の下方、3～20mmのオーダの近距離で、交差点C₀に焦点が合わせられる。

20

【0039】

真空ポートAは銃アセンブリ110に直接接続されて、動作中にそこを確実に 10^{-6} Torr以下のオーダの高真空にする。このような高真空は、上述のウェーネルト電極310と陽極電極320との間で電気系統が故障するリスクを回避し、また、動作寿命の長いエミッタ300を提供するのにも望ましいものである。

【0040】

30

対物レンズ240は、レンズ240の隙間領域370における磁界に焦点を合わせる電子ビームを生成するよう動作可能な電磁石コイル巻線350および磁気回路360を含む。磁気回路360は、好ましくは、軟鋼または軟鉄から製作される。レンズ240の中心ポアでは、図1に示されるように、サンプル190においてX軸およびY軸に沿ってビームを偏向させることのできる2組のプリレンズデフレクタ390aおよび390bにより囲まれるライナチューブ380が装着される。デフレクタ390aおよび390bは走査ユニット160に接続され、この走査ユニット160はまた表示装置170に接続される。

【0041】

レンズ240はさらに、この対物レンズ240の一体化された部分であり、非鉄材料、たとえばデュラロイまたはアルミニウムである下方プレート400を含む。下方プレート400は、図5に示されるように、磁気回路360の下面部分に取付けられる。下方プレート400と回路360の下面部分とは、排気のために真空ポンプシステム150のポートCに結合される中圧の空洞410を規定する。

40

【0042】

コラム120は、上方のアパーチャ軸受部材500における第1のアパーチャを介してのみ空洞410に気体カップリングされる。後に説明されるように、RSEM100の動作の或るモードのために、オペレータが上方のアパーチャ部材500を取外すことができる。

【0043】

同様に、空洞410は、下方のアパーチャ軸受部材520における第2のアパーチャを介

50

してのみチャンバ140に気体カップリングされる。RSEM100の動作の或るモードのために、オペレータは下方のアパーチャ部材520もまた取外すことができる。

【0044】

電子検出器550は下方プレート400の下方に装着される。検出器550からの信号出力は増幅器280の入力に接続され、この増幅器280の出力は、表示装置170の輝度変調入力に結合される。サンプル190はバイアス発生器200の負出力端子 P_1 に電氣的に接続され、バイアス発生器200の対応する正出力端子 P_2 はRSEM100の接地電位に接続される。チャンバ140は、少なくとも部分的にチャンバ140を排気するための真空ポンプシステム150のポートDに結合される。バイアス発生器200は、走査された電子プローブ照射中にサンプル190から検出器550に向けて放出される電子を加速させるために、サンプル190と検出器550との間に電界を生成するよう動作可能である。

【0045】

上方のアパーチャ部材500および下方のアパーチャ部材520をそれぞれ含むRSEM100の動作について記載される。

【0046】

RSEM100のオペレータは、チャンバ140を大気圧に通気し、チャンバ140のアクセスドアを開き、RSEM100の絶縁された調節可能なステージ上にサンプル190を置き、これによりオペレータは、サンプル190がバイアス発生器200の端子 P_1 に電氣的に接続されることを確実にする。次いで、オペレータは、アクセスドアを閉じ、チャンバ140を実質的に4000Pa以下の圧力にまで排気するようポンプシステム150を設定する。ポンプシステム150はまた、空洞140を1~400Paの範囲の圧力に、コラム120の内部領域を 10^{-5} ~ 10^{-6} Torrのオーダの圧力に、かつ、銃アセンブリ110の内部領域を 10^{-6} ~ 10^{-7} Torrの範囲の圧力にまで排気する。

【0047】

次いで、オペレータはEHT電源210を作動させて、EHT電位をエミッタ300に与える。次に、オペレータはエミッタ300を加熱して、そこから、ウェーネルト電極310と陽極電極320との間に生じる静電界によって焦点を合わせられる熱電子を放出させるようにして、交差点 C_0 に焦点が合う電子ビーム600を形成する。次いで、オペレータは、励磁電流で上方レンズ220を励磁して磁界を生じさせ、そこを通過して伝搬する電子ビーム600を集束させて第1の縮小された交差像 C_1 を形成させるようにする。同様に、オペレータは、励磁電流で下方レンズ230を励磁して磁界を生じさせ、そこを通過して伝搬する電子ビーム600を集束させて第2の縮小された交差像 C_2 を形成させるようにする。オペレータはまた、励磁電流で対物レンズ240を励磁して、隙間領域370に集束磁界を生じさせるようにする。電子ビーム600は第2の画像 C_2 から伝搬し、ライナチューブ380の中を通りビーム600を傾ける第1の組のデフレクタ390aを通過し、次いでライナチューブ380をさらに下って、ビーム600をさらに傾ける第2の組のデフレクタ390bに達する。したがって、第1のデフレクタ390aと第2のデフレクタ390bとの組合せにより、ビーム600がチューブ380の中央領域を通過する際にこれを傾けたり横方向にずらしたりすることが可能となる。次いで、ビーム600は、レンズ240の集束磁界領域を介するチューブ380の下方端部を通過し、その後、上方のアパーチャ部材500のアパーチャに達し、その中を通過する。ビーム600は、引き続き下方のアパーチャ部材520のアパーチャへ伝搬し、そこを通過してチャンバ140に入り、最終的にはサンプル190において精密に焦点の合った電子プローブをもたらす。このプローブは、サンプル190において後方散乱および2次電子を生成し、これら電子は、バイアス発生器200によってもたらされるバイアス電位によりはじかれて、検出器550に衝突し、信号 S_d をもたらす。信号 S_d は増幅器180に伝わり、そこで増幅されて、対応する増幅された信号 AS_d を生成する。増幅された信号 AS_d は、表示装置170の輝度変調入力に結合される。表示装置170を走査のために走査ユニット160に同期させ、これによりデフレクタ190aおよび190bが駆動されると、サンプル190の

10

20

30

40

50

拡大された画像が、オペレータの観察のために表示装置 190 上に形成される。

【0048】

柔軟性のために、ならびに、RSEM100が高真空SEMおよびESEMの最良の特性を発揮できるようにするために、上方のアパーチャ部材500および下方のアパーチャ部材520を選択的に取外し可能にすることが大いに有利であることを発明者は理解している。こうして、動作の第1のモードでは、上方のアパーチャ部材500および下方のアパーチャ部材520とともに据付けて、最大4000Paまでの圧力でチャンバ140を動作させることを可能にする。上方のアパーチャ部材500および下方のアパーチャ部材520はともに、RSEM100内で圧力遷移として機能する。動作の第2のモードでは、上方のアパーチャ部材500だけを据付けて、最大300Paまでの圧力でチャンバ140を動作させることを可能にする。上方のアパーチャ部材500は、RSEM100内で圧力遷移として機能する。動作の第3のモードでは、上方のアパーチャ部材500および下方のアパーチャ部材520とともに取外して、チャンバ140が 10^{-6} Torrのオーダの公称高真空圧である従来のSEMとしてRSEM100を動作させることを可能にする。動作の第4のモードは、下方のアパーチャ部材520だけを据付ける場合には実現可能であるが、発明者はこのモードが頻繁に用いられるとは考えていない。

10

【0049】

下方のアパーチャ部材520を取外すと、対物レンズ240はより短い作動距離で動作することが可能となり、これにより、対物レンズの球面収差が減じられるので、サンプル190を走査するためのプローブがより小さくなる。このようなより短い作動距離の場合、アパーチャ部材500および520がともに据付けられたRSEM100の動作に比べてより多くの励磁電流でもって、対物レンズ240を励磁する必要がある。

20

【0050】

直径が100~400 μ mのアパーチャを有利に用いることができるが、発明者は、好ましくは直径が実質的に200 μ mのアパーチャをRSEM100に設けるよう上方のアパーチャ部材500を設計している。同様に、直径が200 μ m~800 μ mのアパーチャを有利に用いることができるが、発明者は、好ましくは直径が500 μ mのアパーチャをRSEM100に設けるよう下方のアパーチャ部材520を設計している。

【0051】

上方の部材500および下方の部材520のそれぞれにおけるアパーチャの直径を変更することにより、チャンバ140を動作させ得る圧力を変更することができることが分かるだろう。さらに、発明者は、レンズ220、230および240に励磁電流を与えるレンズ電流制御装置（図示せず）を、オペレータが調節できるように設計しており、下方のアパーチャ部材520を据付けない場合、対物レンズ240をより短い作動距離で動作させることができ、これにより対物レンズ240が、球面収差の少ない電子プローブを形成することが可能となり、上方のアパーチャ部材500におけるアパーチャが、コラム120に対する電子ビーム半角制限制約をもたらし得る。

30

【0052】

必要に応じて、観察の際にサンプル190を極低温に冷却された面上に装着することができ、これによりサンプル190のいかなる液体成分もその蒸気圧が減じられることがさらに理解される。この点で、ゼーバック効果に従って動作する電気加熱要素は、サンプル190を支持しかつ冷却するために、チャンバ140に有利に装着される。

40

【0053】

ライナチューブ380は、好ましくは、誘電材料、たとえば繊維強化樹脂ポリマーから製造され、薄い導電性箔またはスパッタリングされた金属層でもってその内面が裏打ちされており、デフレクタ390aおよび390bが、高周波数の走査信号、たとえば最大で数百kHzまでの高調波の走査信号で駆動されると渦電流誘導が減じられる。

【0054】

検出器550は、マイクロチャネルプレート、裏面が絶縁された単純な導体プレート、浅いプレーナ型ダイオード構造、または光ファイバにより光電子倍增管に結合されるシンチ

50

レータ構造のうちの1つ以上であり得る。

【0055】

上方のアパーチャ部材500および下方のアパーチャ部材520がRSEM100の重要な特徴であることが上述から理解される。これらの部材500および520は、図2に関連して、より詳細に説明される。

【0056】

図2には、対物レンズ240の一部が側断面図でより詳細に示される。上方のアパーチャ部材500、下方のアパーチャ部材520、磁気回路360、下方プレート400およびキャリア部材700が示される。アパーチャ部材500および520ならびにキャリア部材700は、ほぼ円筒形である。

10

【0057】

磁気回路360は、内面がホーニング加工およびラップ仕上げをされた中心ボアを含み、このボアはキャリア部材700の上に整合する。このボアは、対物レンズ240の非点収差を低めに減ずるために、真円度を高めにして製造される。キャリア部材700は冷間圧入によってボアの中に保持される。言い換えれば、キャリア部材700は、ボアの内径より数ミクロン大きい、ボアに係合する外径を有するよう機械加工される。キャリア部材700をボアの中へ組込む際に、キャリア部材700は、冷却され収縮した状態で、加熱され拡張した状態のボアに挿入される。次いで、キャリア部材700およびボアは相互に類似した温度に到達し得、この温度では、キャリア部材700がボア内に固く保持される。こうして、キャリア部材700は永久的に対物レンズ240の一部となるよう設計され、

20

【0058】

キャリア部材700が好ましくはベリリウム銅合金から製作されるのに対し、上方および下方のアパーチャ部材は好ましくはリン青銅合金から製造される。他の材料、たとえば、非磁性ステンレス鋼などの、相対的な透磁性が実質的に均一である非磁性材料を用い得ることを発明者は理解している。好ましくは、部材500および520は、キャリア部材700へのアパーチャ部材500および520の真空溶接が起こるリスクを避けるために、キャリア部材700とは異なる材料から製造される。

【0059】

キャリア部材700は、環状のフランジ710を組込むことにより、製造中にレンズ240に冷間圧入される際に、磁気回路360上に精密に係合されることが確実となる。環状の窪み720を、キャリア部材700の外面に機械加工して、回路360の中心ボアの精密に形成された内側の底端部に触れないようにする。

30

【0060】

上方のアパーチャ部材500は、図3に示されるように、キャリア部材700の上方の内面と、上方のアパーチャ部材500の上方の外面とに機械加工される協働するねじ山720によって、キャリア部材700内に取外し可能に保持される。さらに、キャリア部材700および上方のアパーチャ部材500は、ねじ山720より下方に協働する円錐台形面730を含み、これらの面730が主に、キャリア部材700内、したがって対物レンズのボア内で、上方の部材500の横方向の整列を調整する。ねじ山720の領域では、上方の部材は、直径が実質的に1.5mm、好ましくは直径が1.45~1.55mmの範囲内である内部ボア740を有する。円錐台形面730の領域では、上方のアパーチャ部材500は、対物レンズ240の第1のアパーチャを提供する微細なボア孔750を含む。微細な孔750は、好ましくは、直径が実質的に200μm、すなわち150~250μmの範囲内である。さらに、微細な孔750は深さが実質的に1mm、すなわち好ましくは1.5mm~0.5mmの範囲内である。この孔750は、放電加工、イオンミリング、レーザアブレーション、化学的に補助されたフォトエッチング、および精密ドリルビットを用いる機械的な孔あけのうちの1つ以上によって作り出すことができる。RSEM100に備えられるねじ回し状の工具と係合するためのねじ山720から離れているキャリア部材500の下方端部ヘスロットを機械加工して、オペレータが、チャンバ140を

40

50

介してアクセスすることによりキャリア部材 700 から上方の部材 500 を取外すことができるようにする。

【0061】

微細な孔 750 は、下方のアパーチャ部材 520 を据付ける場合 4000 Pa に近い圧力で、かつ下方のアパーチャ部材 520 を取外した場合 300 Pa に近い圧力で動作されるときに、チャンバ 140 に存在する気体を実質的な流体抵抗をもたらすよう比較的長く作られる。

【0062】

下方のアパーチャ部材 520 は、直径が実質的に 2.5 mm、すなわち 2.2 mm ~ 2.7 mm の範囲内である中心ボア 800 を含む。下方の部材 520 は、キャリア部材 700 の内面上に機械加工された対応するねじ山と協働させるために、上方の外面上にねじ山 810 を含む。ねじ山 810 より下方では、下方の部材 520 は、キャリア部材 700 へ機械加工される対応する面上に協働して係合させるために、円錐台形面 820 を含む。これらの面 820 は、対物レンズ 240 内で第 2 のアパーチャの横方向および垂直方向の位置を正確に規定するのに役に立つ。下方の部材 520 よりさらに下では、角度的に等間隔に配置された 8 個の孔、たとえば直径が実質的に 1 mm、すなわち 0.8 mm ~ 1.1 mm の範囲内である孔 830 が、部材 520 へ横方向に機械加工される。これらの孔 830 は、下方の部材 520 をキャリア部材 700 に据付ける場合、空洞 410 と整列するよう配置される。下方の部材 520 よりさらに下方では、窪みがパイトン「O」リング 840 を収容するよう機械加工され、このパイトン「O」リング 840 は、下方の部材 520 と下方プレート 400 との間に真空シールをもたらすよう設計されているので、下方の部材 520 をキャリア部材 700 内に据付ける場合、チャンバ 140 から空洞 410 への気体カップリングは、850 で示される第 2 のアパーチャを介するときだけ可能となる。ねじ山 810 から離れた下方の部材 520 の底端部では、ボア 800 が広がって、アパーチャ 850 が中に形成されるプラチナまたはモリブデンのダイヤフラム 860 のために当接する端部が提供され、このダイヤフラム 860 は止め輪 870 によって適所に維持される。2 つの平面が、スパナタイプの工具と係合させるために下方の部材 520 の外面に機械加工されて、オペレータが下方の部材 520 を取外すかまたはキャリア部材 700 へ据付けることができるようにする。好ましくは、スパナタイプの工具は、オペレータが下方の部材 520 を過度に締めたり、場合によっては孔 830 の周辺で部材 520 がずれたりすることを防ぐようラチェットを含む。

【0063】

図 3 では、対物レンズ 240 に装着されるキャリア部材 700 ならびにアパーチャ部材 500 および 520 の垂直断面図が示される。下方プレート 400 の下側の面に取付けられる検出器 550 が示される。図 4 では、チャンバ 140 の上に据付けられた磁気回路 360 の下方の磁極片が、その磁極片上に下方プレート 400 を装着した状態で、垂直断面図にて示される。さらに、適所に据付けられたキャリア部材 700 ならびにそのアパーチャ部材 500 および 520 が示される。キャリア部材 700 ならびにアパーチャ部材 500 および 520 の機能は RSEM100 の全体的な性能にとって重要であるものの、これらの部材が RSEM100 の寸法に比べて比較的小さいことが、図 4 からわかる。

【0064】

図 5 では、上方の部材 500 を断面図で示す。この部材 500 は、上述のねじ回しタイプの工具と係合させるための、900 と示されるスロットを含む。円錐台形面 730 は、中心の対称軸 A-B に対して実質的に 12° の角度へ、すなわち 10° ~ 15° の範囲内に機械加工される。窪み 910 もまた部材 500 に機械加工される。というものの、円錐台形面が始まるところにまで正確にねじ山 720 を機械加工することが実現可能ではないからである。当然のことながら、孔 750 を円錐台形面と正確に同軸に整列させることが好ましく、この整列は、製造中に、保持チャックから上方の部材 500 を外す必要なしに、これらの特徴を形成しつつ達成され得るが、それは、孔 750 および面 730 がともに実質的に部材 500 の一方の端部にあるからである。上述に説明されるように、上方の部材 5

00は好ましくはリン青銅合金から製作される。というのも、この材料は十分に機械加工でき、機械的に安定しかつ強度があり、非強磁性であるからである。さらに、これはアルミニウムと比べて比較的非常多孔質であり、このような多孔質は、チャンバ140、銃110およびコラム120を用いて実質的に 10^{-7} Torrで高真空モードのRSEM100を動作させる際に問題となる。

【0065】

次に図6では、下方の部材520を断面図で示す。部材520は、「O」リング840を収容するための窪み1000と、ダイヤフラム860およびその関連する止め輪870を保持するための窪みとを含む。窪み1010により、ねじ山810が円錐台形面820から隔てられる。この円錐台形面820は、部材520の対称軸C-Dに対して実質的に20°、すなわち15°〜30°の範囲の角度にわたる。上述に説明されるように、下方の部材520はリン青銅合金から製作される。

【0066】

最後に図7では、キャリア部材700を断面図で示す。キャリア部材700の表面のすべて、すなわち、円錐台形面730および820、ならびに対物レンズ240の磁気回路360のボアに整合させるための外面1020はすべて、保持チャックからキャリア部材700を取外す必要なしに機械加工され得、これにより、これらの面730、820および1020の正確な同軸性を確保するのに役立つ。このような機械加工技術により、上方の部材500および下方の部材520の第1および第2のアパーチャは、プローブの収差、たとえば非点収差を防ぐのに重要な、対物レンズ240のボアに対して正確に同軸となる。

【0067】

この発明の範囲から逸脱することなく、RSEM100を変更および変形できることが理解される。

【0068】

RSEM100は、個別に取外し可能なアパーチャ部材500および520を最大2つまで含むと上述に記載されるが、キャリア部材700が3つ以上のアパーチャ部材、たとえば各々が関連のアパーチャを含む、3つの個別に取外し可能なアパーチャ部材を含むよう変形され得ることを発明者は理解している。

【0069】

同様に、上方のアパーチャ部材500に孔750を形成することは、精密さを要する機械加工作業である。相互に整列する中心アパーチャを有するダイヤフラムの積重ねを用いることにより、この孔750を代替的に実現できることを発明者は理解している。

【0070】

3つ以上のアパーチャ部材を用いる場合、RSEM100に2つ以上の差動的に排気された領域130を備えることができ、これにより、電子プローブ照射によるサンプルの観察の際に、4000 Paを超える圧力でチャンバ140を動作させることが可能になることを発明者は理解している。

【0071】

銃アセンブリ110は加熱されたタングステンワイヤまたは六硼化ランタン結晶エミッタ300を用いると上述に記載されるが、銃アセンブリ110での動作において適切な真空を確実に達成するために、ポンプポートAにおいて追加のイオンポンプを備える必要があることが予想されるものの、銃アセンブリ110が代替的に熱電子電界エミッタを用い得ることを発明者は理解している。

【0072】

さらに、より短い対物レンズの作動距離、およびこれにより軽減された球面収差という利点を提供するために、キャリア部材700ならびにその関連するアパーチャ部材500および520を対物レンズ240のさらに上方に装着できることを発明者は理解している。しかしながら、このような変形により、チャンバ140からアパーチャ部材500および520へアクセスしにくくなり、キャリア部材700におけるプリレンズデフレクタ39

10

20

30

40

50

0 a および 3 9 0 b からの渦電流誘導により、この変形は表面的には魅力的でなくなるだろう。

【0073】

キャリア部材 7 0 0 ならびにアパーチャ部材 5 0 0 および 5 2 0 を機械加工することは、精密さを要する機械加工動作である。というのも、当接する面、たとえば円錐台形面 7 3 0 および 8 2 0 で、許容差をミクロン以下に維持しなければならないからである。成形および鋳造技術を用いて、たとえば部材 5 0 0 および 5 2 0 のために導電性ポリマー成形を用いて、製造コストを減じ得ることを発明者は理解している。

【図面の簡単な説明】

【0074】

【図 1】 取外し可能なアパーチャ部材を含む対物レンズを含む、この発明に従った再構成可能な SEM を示す概略図である。

【図 2】 図 1 に示される対物レンズの取外し可能な部材を示す拡大断面図である。

【図 3】 図 2 に示される取外し可能な部材を示す部分的な垂直断面図である。

【図 4】 取外し可能な部材が据付けられた対物レンズの下方の磁極片を示す部分的な垂直断面図である。

【図 5】 対物レンズの上方のアパーチャ部材を示す断面図である。

【図 6】 対物レンズの下方のアパーチャ部材を示す断面図である。

【図 7】 対物レンズ内に上方および下方の部材を保持するためのキャリア部材を示す断面図である。

10

20

【図 1】

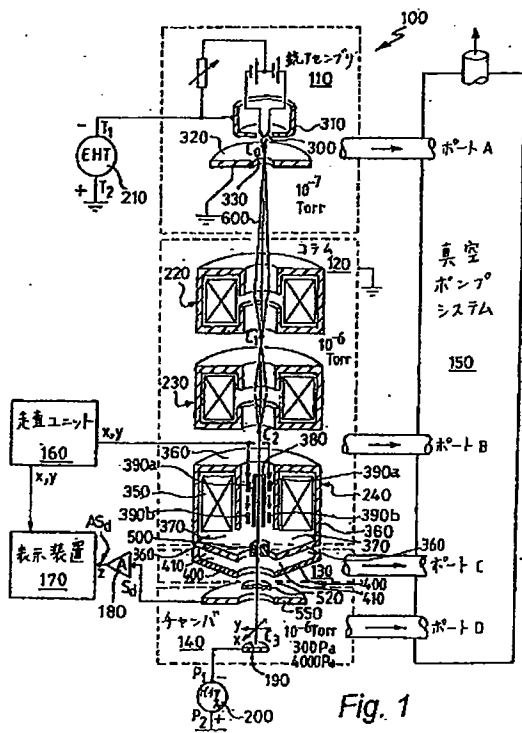


Fig. 1

【図 3】

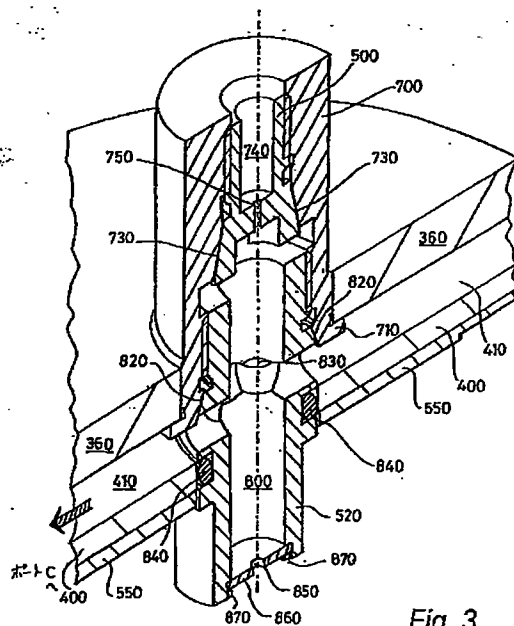
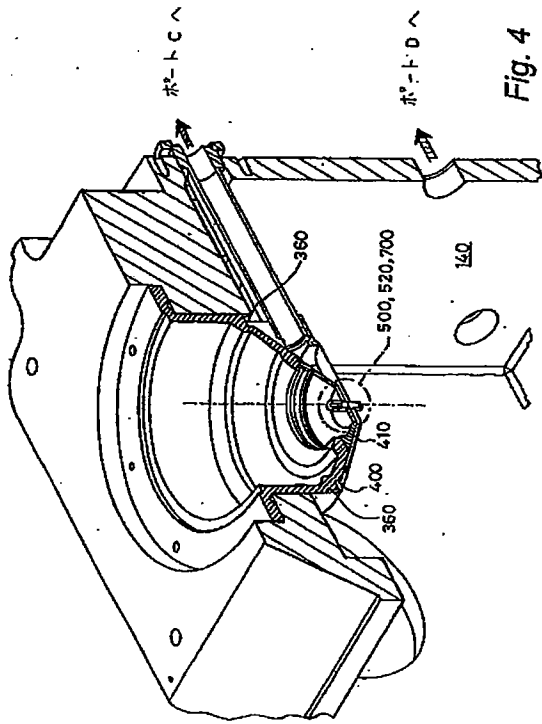


Fig. 3

【図 4】



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

PUBLISHED BY THE INTERNATIONAL BUREAU OF PATENT COOPERATION

(43) International Publication Date
31 October 2002 (31.10.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/086942 A1(51) International Patent Classification: H01J 37/28,
37/001Frank [GB/GB]; 56 Downy End Road, Witchhatch, Cam-
bridge CB5 9PB (GB). MARTIN, Giles, Adam, Edward
[GB/GB]; 44 St John Avenue, Newmarket, Suffolk CB8
8HL, (GB).

(11) International Application Number: PCT/GB02/01901

(12) International Filing Date: 19 April 2002 (19.04.2002)

(74) Agent: KEITH, W NASH & CO; 90-92 Regent Street,
Cambridge CB2 1DP (GB).

(13) Filing Language: English

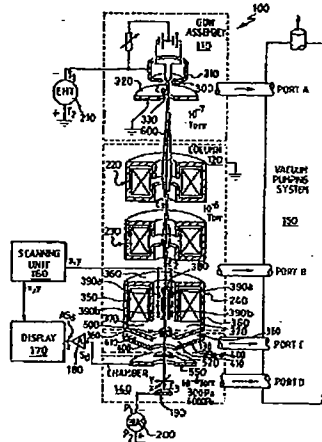
(81) Designated States (national): CZ, JP, US.

(14) Publication Language: English

(30) Priority Data:
0109704.7 20 April 2001 (20.04.2001) GB(84) Designated States (regional): European patent (AT, BE,
CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).(71) Applicant (for all designated States except US): LEO
ELECTRON MICROSCOPY LIMITED [GB/GB];
Clifton Road, Cambridge CB1 3QJ (GB).Published:
— with international search report
— before the expiration of the time limit for amending the
claims and to be republished in the event of receipt of
amendments(72) Inventors: and
(73) Inventor/Applicants (for US only): DEAN, Michael

[Continued on next page]

(54) Title: SCANNING ELECTRON MICROSCOPE



(57) Abstract: There is provided a reconfigurable scanning electron microscope (SEM) (100) comprising: (a) a gun assembly (110) and an associated electron optical column (120) for generating an electron beam (600), for demagnifying the electron beam (600) to generate an electron probe (C₂) and for scanning the probe (C₂) across a sample (190); (b) an electron detector (550) for detecting emissions from the sample (190) in response to scanned electron probe irradiation thereof and for generating a corresponding detected signal (S_d) indicative of the magnitude of the emissions; and (c) a display (170) for receiving the detected signal (S_d) and scanning signals (x, y) indicative of the position of the probe (C₂) relative to the sample (190) for generating the image of the sample (190). The SEM (100) is distinguished in that it further includes aperture bearing members (500, 520), each member (500, 520) including an associated electro-beam transmissive aperture, for at least partially gaseously isolating the gun assembly (110) and the electron optical column (120) from the sample (190), thereby enabling the SEM (100) to be reconfigurable as a high-vacuum scanning electron microscope and also as an environmental scanning electron microscope, the SEM (100) being reconfigurable to include no aperture members, one aperture member (500, 750) and a plurality of aperture members (500, 750; 520 850, 860).

WO 02/086942 A1

WO 02/086942 A1

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

WO 02/786942

PCT/GB02/01901

SCANNING ELECTRON MICROSCOPE

5 Technical Field of the Invention

The present invention relates to scanning electron microscopes (SEMs). In particular, but not exclusively, the invention relates to scanning electron microscopes capable of operating as environmental scanning electron microscopes (ESEMs) and also as conventional high-
10 vacuum SEMs.

Background to the Invention

ESEMs are distinguished from high-vacuum SEMs in that they are capable of viewing
15 samples maintained at pressures greater than in the order of 100 Pa.

It is known from United States Patent no. 5 250 808 to adapt a conventional scanning electron microscope (SEM) to scan samples maintained at an elevated pressure, for example at an atmospheric pressure of substantially 1000 mBar, 760 Torr, 101.3 kPa.
20 Such an adapted SEM comprises an electron gun for generating an electron beam, one or more electromagnetic lenses with associated electron beam deflectors for demagnifying and scanning the electron beam, a sample chamber for housing a sample to be viewed by scanning the demagnified electron beam thereover, a vacuum pumping system for evacuating the apparatus to generate a vacuum therein, one or more electron sensing
25 assemblies for detecting secondary and backscattered electrons emitted from the sample in response to bombardment thereof by the scanned demagnified electron beam, and an electronic control system for controlling the SEM, the control system including one or more image displays. The adapted SEM additionally comprises in the electromagnetic lens nearest the chamber, namely the objective lens, a series of differentially pumped
30 diaphragms. Each diaphragm includes therein an aperture through which the electron beam can pass. The diaphragms are designed to be installed permanently into the adapted

WO 02/086942

PCT/GB02/01901

~ 2 ~

SEM. The diaphragms define at least two interior passages which are in communication with vacuum pumping ports of the SEM. Above all, the adapted SEM is not designed to function with its series of differentially pumped diaphragms removed.

- 5 Inclusion of the diaphragms and maintaining the sample at elevated pressure introduces problems into operation of the adapted SEM.

- Such problems result, for example, from electron scattering in higher-pressure regions surrounding the sample resulting in electron probe blurring. Moreover, inclusion of
10 differentially pumped diaphragms imposes limitations of longer objective lens working distances and hence increased electron probe spherical aberration. Furthermore, in extreme cases, differentially pumped diaphragms can be an electron beam semiangle-limiting factor which can render microscope optical alignment problematic and reduce available electron probe current.

15

Summary of the Invention

According to the invention, there is provided a reconfigurable scanning electron microscope comprising:

- 20 (a) electron optical means for generating an electron beam, for demagnifying the electron beam to generate an electron probe and for scanning the probe across a sample;
- (b) detecting means for detecting emissions from the sample in response to scanned electron probe irradiation thereof and for generating a corresponding detected signal
25 indicative of the magnitude of the emissions;
- characterised in that the microscope further includes aperture means for at least partially gaseously isolating the electron optical means from the sample, thereby enabling the microscope to be reconfigurable as a high-vacuum scanning electron microscope and as an environmental scanning electron microscope, the aperture means reconfigurable to include
30 no apertures, one aperture and a plurality of apertures.

WO 02/066942

PCT/GB02/01901

~ 3 ~

The reconfigurable microscope provides the advantage that it is capable of being configurable in degrees between functioning as a high-vacuum SEM and an ESEM.

Thus, the inventors have appreciated that it is beneficial to design the scanning electron microscope so that it is selectively reconfigurable in degrees between functioning as an ESEM and also as a more conventional SEM operating at high vacuum in the order of 10^{-6} Torr or better.

The aperture means preferably comprises a carrier member retained in an objective lens of the electron optical means, the carrier member including features for reconfigurably accommodating one or more aperture bearing members therein. The carrier member is capable of providing a convenient and robust means for accommodating one or more aperture members when reconfiguring the microscope, thereby rendering the microscope robust and durable in use.

It is preferable to drop pressure in stages when operating the microscope as an ESEM. Thus, an intermediate pressure cavity is preferably included between the electron optical means and a chamber accommodating the sample, the chamber being in gaseous communication via the carrier member to the electron optical means.

Space around the base of the objective lens is relatively restricted, hence spatially efficient design of the intermediate cavity is advantageous. Thus, the objective lens preferably includes a lower plate for defining the intermediate cavity between a lower pole piece of the objective lens and the lower plate.

Conveniently, in order to avoid a need to handle minute diaphragms including apertures, aperture bearing members are employed which are conveniently sized to handle by hand. Thus, the microscope preferably comprises first and second aperture bearing members, the first member including a first aperture serving to substantially gaseously isolate the electron optical means from the intermediate pressure cavity and the second member

WO 02/06941

PCT/GB02/01901

~ 4 ~

including a second aperture serving to substantially gaseously isolate the chamber from the intermediate pressure cavity.

5 In order to reduce pressure from the sample to the electron optical means progressively, the microscope preferably includes vacuum pumping means for differentially evacuating the electron optical means, the intermediate pressure cavity and the chamber.

10 It is advantageous to avoid distorting an electron beam focusing magnetic field of the objective lens when installing the aperture bearing members. Therefore, the carrier member and the aperture members are preferably fabricated from substantially non-ferromagnetic materials.

15 The carrier member is preferably fabricated from a material dissimilar to that of the aperture members to avoid potential occurrence of vacuum welding therebetween. More preferably, the carrier member is fabricated from beryllium copper alloy and the aperture members are fabricated from phosphor bronze alloy.

20 In order to enable the microscope to be reconfigured frequently, it is preferable that the aperture members are reliably retained within the carrier member after many reconfigurations. Hence, the aperture members are preferably removably retained within the carrier member by means of co-operating screw threads.

25 Moreover, accurate concentric alignment of the aperture members is desirable to avoid aberrations when forming the probe. Thus, the aperture members preferably include frusto-conical surfaces for registering to corresponding frusto-conical co-operating surfaces of the carrier member, thereby ensuring accurate spatial alignment of the aperture members to the objective lens.

30 Preferably, the frusto-conical surface of the first aperture member subtends an angle in a range of 10° to 15° relative to a central longitudinal axis of the first member. More

WO 02/486942

PCT/GB02/01901

- 5 -

preferably, the frusto-conical surface of the first aperture subtends an angle of substantially 12° relative to the central axis of the first member.

Likewise, the frusto-conical surface of the second aperture member preferably subtends an angle in a range of 15° to 30° relative to a central longitudinal axis of the second member. More preferably, the frusto-conical surface of the second aperture member subtends an angle of substantially 20° relative to the central longitudinal axis of the second member.

The inventors have appreciated that selecting suitable aperture sizes for operating the microscope as an ESEM is not straightforward. Preferably, as a compromise between gas flow resistance and transmission of the electron beam, the first member includes a first electron beam transmissive aperture having a diameter in a range of 100 µm to 400 µm. More preferably, the first aperture has a diameter of substantially 200 µm. Likewise, the first aperture may to advantage have a depth in a range of 0.5 mm to 1.5 mm. More preferably, the first aperture has a depth of substantially 1 mm. Depths of more than 1.5 mm become difficult to machine whereas depths of less than 0.5 mm provide inadequate gas flow resistance.

Similarly, the second aperture member preferably includes a second electron beam transmissive aperture having a diameter in a range of 200 µm to 800 µm. More preferably, the second aperture has a diameter of substantially 500 µm. Conveniently, the diaphragm including the second aperture is retained in position in the second aperture member by means of a circlip. Moreover, the diaphragm including the second aperture is preferably fabricated from at least one of platinum and molybdenum. Platinum and molybdenum are mechanically stable materials which are compatible with high-vacuum apparatus.

The second aperture member preferably includes a plurality of radial holes for gaseously communicating an inside region of the second member with the intermediate pressure cavity. Such an arrangement facilitates the adequate evacuation of gas from the intermediate pressure cavity and the inside region of the second member.

WO 01/086942

PCT/GB02/01901

- 6 -

The plurality of holes are preferably angularly equi-spaced. More preferably, the plurality of holes comprises eight holes as a compromise between evacuation efficiency and mechanical strength of the second member. Each of the plurality of holes preferably has a diameter in a range of 0.8 mm to 1.1 mm. More preferably, each of the plurality of holes has a diameter of substantially 1 mm.

The carrier member and the aperture members are preferably, in use, held in the objective lens. Moreover, inclusion of the carrier and aperture members in the objective lens should preferably not degrade the performance of the objective lens. Of critical importance to the probe forming performance of the objective lens is the quality of a lower bore of the lens magnetic circuit. During manufacture this bore is carefully honed and lapped to a polished finish and machined to within microns of perfect circularity. Thus, the inventors have appreciated that, in order not to compromise the performance of the objective lens, the carrier is preferably retained in the objective lens by means of cold fitting.

Moreover, ease of installing and removing the aperture members from the carrier is a practical consideration to render the microscope convenient to use. Hence, the first aperture member preferably includes a slot feature for engaging with a tool when installing or removing the first member from the carrier member. Likewise, the second aperture member preferably comprises a plurality of flats on its exterior surface for engaging with a tool when installing or removing the second member from the carrier member.

In order not to significantly disturb the magnetic circuit of the objective lens, it is desirable that the lower plate defining the intermediate pressure cavity should be of a non-ferrous material. Thus, the lower plate is conveniently fabricated from at least one of aluminium and duraloy. Both these materials are non-ferromagnetic. Duraloy is an alloy of aluminium and copper.

In the microscope, backscattered and secondary electron emission from the sample in response to electron probe bombardment yield different information regarding the nature of

WO 02/086947

PCT/GD02/01901

~ 7 ~

the sample. Hence, the microscope preferably includes more than one type of detector for detecting the emitted electrons. More preferably, the detecting means comprises at least one of an electron sensitive photodiode, a microchannel plate, a scintillator-photomultiplier tube combination and an electrically isolated conductor plate.

5

With adequate evacuation, a high vacuum of 10^{-4} Torr or lower pressure can be attained within the electron optical means. Such a vacuum enables the microscope to employ a plurality of different electron source types. More preferably, the electron optical means includes one or more of a thermionic tungsten wire electron emitter, a thermionic lanthanum hexaboride electron emitter and a thermal field emitter for generating the electron beam for use in generating the probe.

10

Description of the drawings

15 Embodiments of the invention will now be described, by way of example only, with reference to the following diagrams in which:

- Figure 1 is a schematic diagram of a reconfigurable SEM according to the invention, the reconfigurable SEM including an objective lens comprising removable aperture members;
- 20 Figure 2 is an enlarged cross-sectional view of the removable members of the objective lens illustrated in Figure 1;
- Figure 3 is an orthogonal partially sectioned view of the removable members illustrated in Figure 2;
- 25 Figure 4 is an orthogonal partially sectioned diagram of a lower magnetic pole piece of the objective lens with the removable members installed;
- Figure 5 is a cross-sectional diagram of an upper aperture member of the objective lens;
- Figure 6 is a cross-sectional diagram of a lower aperture member of the objective lens;
- 30 and

WO 02/086912

PCT/GB02/01901

- 8 -

Figure 7 is a cross-sectional diagram of a carrier member for retaining the upper and lower members within the objective lens.

Detailed description of embodiments of the invention

5

Conventional SEMs suffer a problem that their samples must be maintained at a high vacuum in the order of 10^{-6} Torr pressure or lower. If higher operating pressures are employed, for example 10^{-4} Torr, electrical breakdown in their electron guns can occur and electron beam scattering by air molecules along their electron optical columns results in significant broadening of probes generated at their samples. Moreover, reduced operating lifetime of electron emitters employed in their guns arises as trace oxygen in their columns reacts with the emitters.

Moreover, samples in conventional SEMs require special preparation prior to viewing. Moisture has to be removed from the samples and then a thin coating of conductive material applied thereto, for example a 100 Angstroms thick layer of sputtered aluminium, to prevent sample charging when subjected to electron irradiation. For certain hydrated samples, for example biological tissue samples, such preparation can mask features to be viewed and prevents on-going biological processes being observed in such conventional SEMs.

Environmental scanning electron microscopes (ESEMs) have therefore recently been developed, for example as described in US Patent No. 5 250 808 which is hereby incorporated by reference, which allow samples to be maintained at elevated pressures, for example at atmospheric pressure, whilst electron optical columns of the ESEMs are operated at high vacuum, for example at pressures in the order of 10^{-6} to 10^{-4} Torr. ESEMs are distinguished from conventional SEMs in that they include a series of differentially pumped diaphragms providing associated apertures in a region of their objective lenses, the apertures providing the only gaseous coupling between the chambers and columns of the ESEMs. In each such ESEM, the ESEM electron beam passes from the ESEM column through the diaphragm apertures to the ESEM chamber.

WO 02/086942

PCT/GB02/01901

~ 9 ~

The inventors have appreciated that, although ESEMs provide the benefit that their samples can be maintained at elevated pressure when being viewed, ESEMs have certain drawbacks compared to conventional SEMs. For example, inclusion of the aforementioned series of differentially pumped diaphragms results in the objective lenses of ESEMs providing a reduced degree of demagnification because of longer working distances and thereby resulting in a larger diameter probes. Moreover, objective lens spherical aberration increases as objective lens working distances are increased which results in further probe blurring. The inventors have further appreciated that it is beneficial to design an SEM so that it is reconfigurable to function as both a high vacuum SEM and also as an ESEM. Moreover, the inventors have further appreciated that it is highly desirable to be able to switch between SEM and ESEM modes of operation progressively.

Referring now to Figure 1, a reconfigurable scanning electron microscope (RSEM) according to the present invention is indicated generally by 100. The RSEM 100 comprises an electron gun assembly 110, an electron optical column 120, a differential pumping region 130 bounded by one or more removable diaphragms each providing an associated aperture, a sample chamber 140 and a vacuum pumping system 150. The RSEM 100 further comprises a scanning unit 160 and an image display 170 with an associated signal amplifier 180. The chamber 140 includes a sample 190 mounted on an electrically isolated stage (not shown). The RSEM 100 further comprises a bias generator 200 for applying a bias potential to the sample 190, and an extra high tension (EHT) voltage supply 210 for applying a bias potential to the gun assembly 110.

The column 120 comprises an upper electromagnetic demagnifying lens 220, a lower electromagnetic demagnifying lens 230 and finally an electromagnetic objective lens 240 remote from the gun assembly 110 and near the chamber 140. The demagnifying lenses 220, 230 are of conventional design, each lens comprising an electromagnet bobbin winding and a mild steel or soft iron magnetic circuit. At a substantially central region of each of the lenses 220, 230, a gap in the magnetic circuit is provided across which an

WO 02/086941

PCT/GB02/01901

~ 10 ~

electron beam focusing magnetic field can be established by passing current through the bobbin winding.

Interconnection of parts within the RSEM 100 will now be described.

5

The gun assembly 110, the column 120, the differential region 130 and the chamber 140 are mounted in sequence together as a vertically orientated stack as shown having the gun assembly 110 at the top of the stack and the chamber 140 at the bottom of the stack. The gun assembly 110 and the column 120 are coupled for evacuation purposes and are connected through ports A and B respectively to the pumping system 150. The gun assembly 110 is electrically connected at its cathode to a negative output terminal T_1 of the EHT supply 210. A positive output terminal T_2 of the supply 210 is connected to a ground potential of the RSEM 100. The EHT supply 210 is designed to provide an output potential which can be varied in a range from 500 volts to 30 kV.

15

The gun assembly 110 conveniently employs a tungsten wire electron emitter 300. However, the assembly 110 can alternatively employ a resistively heated or electron-bombardment heated lanthanum hexaboride (LaB_6) crystal electron emitter instead of the tungsten wire emitter 300. The assembly 110 also includes a Wehnelt electrode 310 for use in controlling electron emission from the assembly 110. Moreover, the assembly 110 further comprises an anode electrode 320 at substantially ground potential, the anode electrode 320 including a central hole 330 through which an electron beam 600 emitted from the emitter 300 propagates to the column 120. In operation, the electron beam 600 is focused by the anode and Wehnelt electrodes 320, 310 respectively to a crossover C_0 a short distance below the emitter 300, the short distance being in the order of 3 to 20 mm.

25

The vacuum port A is connected directly to the gun assembly 110 to ensure that a high vacuum in the order of 10^{-6} Torr or better is established thereat during operation. Such a high vacuum is desirable to circumvent a risk of electrical breakdown between the aforementioned Wehnelt and anode electrodes 310, 320 and also to provide the emitter 300 with an extended working life span.

30

WO 02/086942

PCT/GB02/01901

~ 11 ~

- The objective lens 240 comprises a magnet bobbin winding 350 and a magnetic circuit 360 operable to generate an electron beam focusing magnetic field in a gap region 370 of the lens 240. The magnetic circuit 360 is preferably fabricated from mild steel or soft iron.
- 5 In a central bore of the lens 240, there is mounted a liner tube 380 surrounded by two sets of pre-lens deflectors 390a, 390b capable of deflecting the beam along x and y axes at the sample 190 as illustrated in Figure 1. The deflectors 390a, 390b are connected to the scanning unit 160, the scanning unit 160 being also connected to the display 170.
- 10 The lens 240 further comprises a lower plate 400 of non-ferrous material, for example duralloy or aluminium, which is an integral part of the objective lens 240. The lower plate 400 is attached to an underside part of the magnetic circuit 360 as illustrated in Figure 5. The lower plate 400 and the underside part of the circuit 360 define an intermediate pressure cavity 410 which is coupled to port C of the vacuum pumping system 150 for
- 15 evacuation purposes.
- The column 120 is gaseously coupled to the cavity 410 solely through a first aperture in an upper aperture bearing member 500. As will be elucidated later, the upper aperture member 500 can be removed by an operator for certain modes of RSEM 100 operation.
- 20 Likewise, the cavity 410 is gaseously coupled to the chamber 140 solely through a second aperture in a lower aperture bearing member 520. The lower aperture member 520 can also be removed by the operator for certain modes of RSEM 100 operation.
- 25 An electron detector 550 is mounted beneath the lower plate 400. A signal output from the detector 550 is connected to an input of the amplifier 280 whose output is coupled to an intensity modulation input of the display 170. The sample 190 is electrically connected to a negative output terminal P_1 of the bias generator 200, a corresponding positive output terminal P_2 of the bias generator 200 being connected to the ground potential of the RSEM
- 30 100. The chamber 140 is coupled to port D of the vacuum pumping system 150 for at least partially evacuating the chamber 140. The bias generator 200 is operable to generate

WO 02/086942

PCT/GB02/01901

- 12 -

an electric field between the sample 190 and the detector 550 for accelerating electrons released from the sample 190 during scanned electron probe irradiation towards the detector 550.

- 5 Operation of the RSEM 100 will now be described where the RSEM 100 includes the upper and lower aperture members 500, 520 respectively.

- The operator of the RSEM 100 vents the chamber 140 to atmospheric pressure, opens an access door of the chamber 140 and places the sample 190 on an insulated adjustable stage of the RSEM 100, the operator ensuring that the sample 190 is electrically connected to the terminal P₁ of the bias generator 200. The operator then closes the access door and sets the pumping system 150 to pump the chamber 140 to a pressure of substantially 4000 Pa or lower. The pumping system 150 also evacuates the cavity 410 to a pressure in a range of 1 to 400 Pa, an interior region of the column 120 to a pressure in the order of 10⁻⁵ to 10⁻⁶ Torr and an interior region of the gun assembly 110 to a pressure in a range of 10⁻⁶ to 10⁻⁷ Torr.

- The operator then energises the EHT supply 210 to apply an EHT potential to the emitter 300. Next, the operator applies heating to the emitter 300 for emitting thermionic electrons therefrom which are focused by an electrostatic field established between the Wehnelt electrode 310 and the anode electrode 320 to form an electron beam 600 focused to a crossover C₀. The operator then energises the upper lens 220 with magnetising current to establish a magnetic field for focussing the electron beam 600 propagating therethrough to form a first demagnified crossover image C₁. Likewise, the operator energises the lower lens 230 with magnetising current to establish a magnetic field for focussing the electron beam 600 propagating therethrough to form a second demagnified crossover image C₂. The operator also energises the objective lens 240 with magnetising current for establishing a focusing magnetic field in the gap region 370. The electron beam 600 propagates from the second image C₂ through the liner tube 380 past the first set of deflectors 390a which tilts the beam 600 and then further down the liner tube 380 to the second set of deflectors 390b which further tilts the beam 600; the first and second

WO 02/086942

PCT/GB02/01901

~ 13 ~

deflectors 390a, 390b in combination are therefore capable of tilting and laterally displacing the beam 600 as it passes through a central region of the tube 380. The beam 600 then propagates past a lower end of the tube 380 through a focussing magnetic field region of the lens 240 and thereafter to the aperture of the upper aperture member 500 through which it passes. The beam 600 continues to propagate to the aperture of the lower aperture member 520 and passes therethrough to enter the chamber 140 and finally to provide a finely focused electron probe at the sample 190. The probe excites the generation of backscattered and secondary electrons at the sample 190 which are repelled by the bias potential provided by the bias generator 200 to impact onto the detector 550 and give rise to a signal S_d . The signal S_d passes to the amplifier 180 whereat it is amplified to generate a corresponding amplified signal AS_d . The amplified signal AS_d is coupled to an intensity modulating input of the display 170. As the display 170 is synchronised for scanning purposes to the scanning unit 160 which, in turn, drives the deflectors 190a, 190b, a magnified image of the sample 190 is formed on the display 190 for viewing by the operator.

For flexibility and for enabling the RSEM 100 to provide the best characteristics of a high-vacuum SEM and an RSEM, the inventors have appreciated that it is highly advantageous to make the upper and lower aperture members 500, 520 selectively removable. Thus, in a first mode of operation, both the upper and lower aperture members 500, 520 are installed enabling the chamber 140 to be operated at pressures of up to 4000 Pa; both the upper and lower aperture members 500, 520 function as pressure transitions within the RSEM 100. In a second mode of operation, only the upper aperture member 500 is installed enabling the chamber 140 to be operated at pressures of up to 300 Pa; the upper aperture member 500 functions as a pressure transition within the RSEM 100. In a third mode of operation, both the upper and lower aperture members 500, 520 are removed enabling the RSEM 100 to be operated as a conventional SEM where the chamber 140 is at a nominal high-vacuum pressure in the order of 10^{-6} Torr. A fourth mode of operation is feasible where only the lower aperture member 520 is installed although the inventors do not envisage this mode being employed frequently.

WO 02/086942

PCT/GB02/01901

- 14 -

When the lower aperture member 520 is removed, the objective lens 240 is capable of operating with a shorter working distance which results in reduced objective lens spherical aberration and hence a smaller probe for scanning the sample 190. Such a shorter working distance requires the objective lens 240 to be energised with more magnetising current
5 compared to operation of the RSEM 100 with both aperture members 500, 520 installed.

The inventors have designed the upper aperture member 500 to provide the RSEM 100 with an aperture preferably of substantially 200 μm diameter, although an aperture having a diameter in a range of 100 to 400 μm can beneficially be employed. Likewise, the
10 inventors have designed the lower aperture member 520 to provide the RSEM 100 with an aperture preferably of 500 μm diameter, although an aperture having a diameter in a range of 200 μm to 800 μm can beneficially be employed.

By modifying the diameters of the apertures in the upper and lower members 500, 520
15 respectively, it will be appreciated that the pressure at which the chamber 140 can be operated can be modified. Moreover, the inventors have designed lens current controllers (not shown) providing magnetising current to the lenses 220, 230, 240 to be operator variable so that the objective lens 240 can be operated with a shorter working distance when the lower aperture member 520 is not installed thereby enabling the objective lens
20 240 to form an electron probe having reduced spherical aberration, the aperture in the upper aperture member 500 providing an electron beam semiangle limiting constraint for the column 120.

It will further be appreciated that the sample 190 can, if required, be mounted on a
25 cryogenically cooled surface when viewed thereby reducing the vapour pressure of any fluid components of the sample 190. In this respect, an electro-thermal element operating according to the Seebeck effect is advantageously mounted in the chamber 140 for supporting the sample 190 and cooling it.

30 The liner tube 380 is preferably manufactured from a dielectric material, for example a fibre reinforced resinous polymer, and lined on its inside surface with thin conducting foil

WO 02/686942

PCT/GB02/01901

- 15 -

or a sputtered metallic layer to reduce eddy current induction when the deflectors 390a, 390b are driven with high frequency scanning signals, for example scanning signals having harmonic components up to several hundred kHz.

- 5 The detector 530 can be one or more of a microchannel plate, a simple rear-insulated conductor plate, a shallow planar diode structure or a scintillator structure fibre-optically coupled to a photomultiplier tube.

- It will be appreciated from the foregoing that the upper and lower aperture members 500, 520 are significant features of the RSEM 100. These members 500, 520 will now be elucidated in more detail with reference to Figure 2.

- In Figure 2, a part of the objective lens 240 is illustrated in greater detail in side cross-sectional view. There is shown the upper aperture member 500, the lower aperture member 520, the magnetic circuit 360, the lower plate 400 and a carrier member 700. The aperture members 500, 520 and the carrier member 700 are of a generally cylindrical form.

- The magnetic circuit 360 comprises a central bore which has honed and lapped inside-facing surfaces where the bore interfaces onto the carrier member 700. The bore is manufactured to a high degree of circularity in order to reduce astigmatism of the objective lens 240 to a low degree. The carrier member 700 is held by a cold fit into the bore; in other words, the carrier member 700 is machined to have a bore-engaging outside diameter which is a few microns greater than the inside diameter of the bore. When assembling the carrier member 700 into the bore, the carrier member 700 is inserted in a cooled contracted state into the bore which is in a heated expanded state. The carrier member 700 and the bore are then allowed to achieve a mutually similar temperature whereat the carrier member 700 is firmly retained within the bore. The carrier member 700 is thus designed to be a permanent part of the objective lens 240 and not operator-detachable therefrom.

WO 02/080942

PCT/GB02/01901

- 16 -

The carrier member 700 is preferably fabricated from beryllium copper alloy, whereas the upper and lower aperture members are preferably manufactured from phosphor bronze alloy. The inventors have appreciated that other materials can be employed, for example non-magnetic materials having a relative permeability of substantially unity such as non-magnetic stainless steel. Preferably, the members 500, 520 are manufactured from a material which is dissimilar to that of the carrier member 700 to circumvent a risk of the aperture members 500, 520 vacuum welding to the carrier member 700.

The carrier member 700 incorporates an annular flange 710 to ensure that it is precisely engaged onto the magnetic circuit 360 when cold-fitted into the lens 240 during manufacture. An annular recess 720 is machined into an exterior surface of the carrier member 700 to clear a precisely-formed inside bottom edge of the central bore of the circuit 360.

The upper aperture member 500 is removably retained within the carrier member 700 by way of co-operating screw threads 720 machined into an upper inside surface of the carrier member 700 and into an upper exterior surface of the upper aperture member 500 as illustrated in Figure 3. Moreover, the carrier member 700 and the upper aperture member 500 include co-operating frusto-conical surfaces 730 lower down from the threads 720, these surfaces 730 predominantly governing lateral alignment of the upper member 500 within the carrier member 700 and hence within the objective lens bore. In the region of the threads 720, the upper member has an internal bore 740 of substantially 1.5 mm diameter, and preferably within a range of 1.45 to 1.55 mm in diameter. In the region of the frusto-conical surfaces 730, the upper aperture member 500 includes a fine bore hole 750 providing the first aperture of the objective lens 240. The fine hole 750 preferably has a diameter of substantially 200 μm , namely within a range of 150 to 250 μm . Moreover, the fine hole 750 has a depth of substantially 1 mm, namely preferably within a range of 1.5 mm to 0.5 mm. The hole 750 can be produced by one or more of spark erosion, ion milling, laser ablation, chemically assisted photo-etching and mechanical drilling using a fine drill bit. A slot is machined into a lower end of the carrier member 500 remote from the thread 720 for engaging with a screw-driver like tool supplied with the RSEM 100 to

WO 02/086942

PCT/GB02/01901

- 17 -

enable the operator to remove the upper member 500 from the carrier member 700 by way of the chamber 140 providing access.

The fine hole 750 is made relatively long to provide a substantial flow resistance to gas present in the chamber 140 when operating at pressures approaching 4000 Pa when the lower aperture member 520 is installed, and at pressures approaching 300 Pa when the lower aperture member 520 has been removed.

The lower aperture member 520 includes a central bore 800 of substantially 2.5 mm diameter, namely a diameter within a range of 2.2 mm to 2.7 mm. The lower member 520 includes a screw thread 810 on its upper outer surface for co-operating with corresponding threads machined on an inside facing surface of the carrier member 700. Lower down from the threads 810, the lower member 520 comprises a frusto-conical surface 820 for co-operatively engaging onto a corresponding surface machined into the carrier member 700. These surfaces 820 serve to accurately define the lateral and vertical position of the second aperture within the objective lens 240. Yet lower down the lower member 520, eight angularly equi-spaced holes, for example a hole 830 of substantially 1 mm diameter, namely within a range of 0.8 mm to 1.1 mm diameter, are machined laterally into the member 520. The holes 830 are arranged to align with the cavity 410 when the lower member 520 is installed into the carrier member 700. Yet lower down the lower member 520, a recess is machined for accommodating a Viton "O"-ring 840 which is designed to provide a vacuum seal between the lower member 520 and the lower plate 400, thereby rendering gaseous coupling from the chamber 140 to the cavity 410 possible only via the second aperture indicated by 850 when the lower member 520 is installed into the carrier member 700. At a bottom end of the lower member 520 remote from the threads 810, the bore 800 widens out to provide an abutting edge for a platinum or molybdenum diaphragm 860 into which the aperture 850 is formed, the diaphragm 860 being maintained in position by way of a clip 870. Two flats are machined into the exterior surface of the lower member 520 for engaging with a spanner-type tool for enabling the operator to remove or install the lower member 520 into the carrier member 700. Preferably, the spanner-type

WO 02/086942

PCT/GB02/01901

~ 18 ~

tool includes a ratchet to prevent the operator from tightening the lower member 520 excessively and potentially shearing the member 520 in the vicinity of the holes 830.

Referring to Figure 3, there is shown an orthogoeal cross-sectional view of the carrier member 700 and the aperture members 500, 520 mounted into the objective lens 240. The detector 550 is shown attached to an underside surface of the lower plate 400. In Figure 4 there is shown in orthogonal cross-sectional view a lower pole piece of the magnetic circuit 360 installed onto the chamber 140 with the lower plate 400 mounted onto the pole piece. Moreover, the carrier member 700 and its aperture members 500, 520 are shown installed in position. It will be appreciated from Figure 4 that the carrier member 700 and the aperture members 500, 520 are relatively small in comparison to the size of the RSEM 100 although their function is important to the overall performance of the RSEM 100.

Referring now to Figure 5, the upper member 500 is shown on cross-sectional view. The member 500 comprises the slot denoted by 900 for engaging with the aforementioned screwdriver-type tool. The frusto-conical surface 730 is machined to an angle of substantially 12° with respect to a central axis of symmetry A-B, namely within a range of 10° to 15° . A recess 910 is also machined into the member 500 as it is not practicable to machine the thread 720 exactly up to where the frusto-conical surface starts. It is to be appreciated that accurate concentric alignment of the hole 750 to the frusto-conical surface is preferable and can be achieved during manufacture without needing to disengage the upper member 500 from a holding chuck whilst forming these features as both the hole 750 and the surface 730 are substantially at one end of the member 500. As elucidated in the foregoing, the upper member 500 is preferably fabricated from phosphor bronze alloy as this material machines well, is mechanically stable and strong, and is non-ferromagnetic. Moreover, it is relatively non-porous compared to aluminium, such porosity being a consideration when operating the RSEM 100 in high-vacuum mode with its chamber 140, gun 110 and column 120 at substantially 10^{-7} Torr.

30

WO 02/086942

PCT/GB02/01901

~ 19 ~

Referring next to Figure 6, the lower member 520 is shown in cross-sectional view. The member 520 includes a recess 1000 for accommodating the "O"-ring 840, and a recess for holding the diaphragm 860 and its associated circlip 870. A recess 1010 separates the thread 810 from the frusto-conical surface 820. The frusto-conical surface 820 subtends an angle of substantially 20° relative to an axis of symmetry C-D of the member 520, namely an angle in a range of 15° to 30°. As elucidated in the foregoing, the lower member 520 is fabricated from phosphor bronze alloy.

Referring finally to Figure 7, the carrier member 700 is shown in cross-sectional view. It will be appreciated that all critical surfaces of the carrier member 700, namely the frusto-conical surfaces 730, 820 and an exterior surface 1020 for interfacing to the bore of the magnetic circuit 360 of the objective lens 240 can all be machined without needing to remove the carrier member 700 from a holding chuck, thereby assisting to ensure accurate concentricity of these surfaces 730, 820, 1020. By such machining techniques, the first and second apertures of the upper and lower members 500, 520 are accurately concentric to the bore of the objective lens 240 which is important to avoid probe aberrations, for example astigmatism.

It will be appreciated that changes and modifications can be made to the RSEM 100 without departing from the scope of the invention.

Although the RSEM 100 is described in the foregoing as including up to two individually removable aperture members 500, 520, the inventors have appreciated that the carrier member 700 can be modified to include more than two aperture members, for example three individually removable aperture members each including an associated aperture.

Likewise, forming the hole 750 in the upper aperture member 500 is an exacting machining task. The inventors have appreciated that the hole 750 can alternatively be implemented by employing a stack of diaphragms having mutually aligning central apertures.

WO 02/086942

PCT/GB02/01901

- 20 -

When more than two aperture members are employed, the inventors have appreciated that the RSEM 100 can be provided with more than one differentially pumped region 130 thereby enabling the chamber 140 to be operated at pressures in excess of 4000 Pa when viewing samples by electron probe irradiation.

5

Although the gun assembly 110 is described in the foregoing as employing a heated tungsten wire or lanthanum hexaboride crystal emitter 300, the inventors have appreciated that the gun assembly 110 can alternatively employ a thermionic field emitter, although it is envisaged that provision of an additional ion pump would be required at pumping port A

10

to ensure that an adequate vacuum is achieved in operation at the gun assembly 110.

Moreover, in order to provide benefits of shorter objective lens working distance, and hence reduced spherical aberration, the inventors have appreciated that the carrier member 700 and its associated aperture members 500, 520 can be mounted further up the objective

15

lens 240. However, such a modification results in reduced accessibility to the aperture members 500, 520 from the chamber 140, and eddy-current induction in the carrier member 700 from the pre-lens deflectors 390a, 390b would render this modification superficially unattractive.

20

Machining the carrier member 700 and the aperture members 500, 520 is an exacting machining operation as tolerances have to be maintained within microns at abutting faces, for example at the frusto-conical surfaces 730, 820. The inventors have appreciated that moulding and casting techniques could be employed to reduce manufacturing costs, for example by employing conductive polymers mouldings for the members 500, 520.

25

30

WO 02/086942

PCT/GB02/01901

- 21 -

CLAIMS

1. A reconfigurable scanning electron microscope comprising:
 - (a) electron optical means for generating an electron probe and for scanning the probe across a sample;
 - (b) detecting means for detecting emissions from the sample in response to scanned electron probe irradiation thereof;characterised in that the microscope further includes aperture means for at least partially gaseously isolating the electron optical means from the sample, thereby enabling the microscope to be reconfigurable as a high-vacuum scanning electron microscope and as an environmental scanning electron microscope, the aperture means being reconfigurable to include no apertures, one aperture and a plurality of apertures.
2. A microscope according to claim 1, wherein the aperture means comprises a carrier member in an objective lens of the electron optical means, the carrier member including features for reconfigurably accommodating one or more aperture bearing members therein.
3. A microscope according to claim 2, in which the microscope includes an intermediate pressure cavity between the electron optical means and a chamber accommodating the sample, the chamber being in gaseous communication via the carrier member to the electron optical means.
4. A microscope according to claim 3, wherein the objective lens includes a lower plate for defining the intermediate cavity between a lower pole piece of the objective lens and the lower plate.
5. A microscope according to claim 4, in which the aperture means comprises first and second aperture bearing members, the first member including a first aperture serving to substantially gaseously isolate the electron optical means from the intermediate pressure

WO 02/086942

PCT/GD92/01901

~ 22 ~

cavity and the second member including a second aperture serving to substantially gaseously isolate the chamber from the intermediate pressure cavity.

6. A microscope according to claim 3, 4 or 5, including vacuum pumping means for differentially evacuating the electron optical means, the intermediate pressure cavity and the chamber.

7. A microscope according to claim 5 or 6, wherein the carrier member and the aperture bearing members are fabricated from substantially non-ferromagnetic materials.

8. A microscope according to claim 5, 6 or 7, wherein the carrier member is fabricated from a material dissimilar to that of the aperture bearing members.

9. A microscope according to claim 8, wherein the materials of the carrier member and the aperture members are sufficiently different to avoid in use vacuum welding of one or more of the aperture members to the carrier member.

10. A microscope according to claim 7, 8 or 9, wherein the carrier member is fabricated from beryllium copper alloy and the aperture bearing members are fabricated from phosphor bronze alloy.

11. A microscope according to one of claims 5 to 10, wherein the aperture members are removably retained within the carrier member by means of co-operating screw threads.

12. A microscope according to any one of claims 5 to 11, wherein the aperture bearing members include frusto-conical surfaces for registering to corresponding frusto-conical co-operating surfaces of the carrier member, thereby ensuring accurate spatial alignment of the aperture members to the objective lens.

WO 02/086942

PCT/GD02/01901

~ 23 ~

13. A microscope according to claim 12, wherein the frusto-conical surface of the first aperture member subtends an angle in a range of 10° to 15° relative to a central longitudinal axis of the first member.
14. A microscope according to claim 12 or 13, wherein the frusto-conical surface of the first member subtends an angle of substantially 12° relative to the central axis of the first member.
15. A microscope according to any one of claims 12 to 14, wherein the frusto-conical surface of the second aperture member subtends an angle in a range of 15° to 30° relative to a central longitudinal axis of the second member.
16. A microscope according to any one of claims 12 to 15, wherein the frusto-conical surface of the second aperture member subtends an angle of substantially 20° relative to the central longitudinal axis of the second member.
17. A microscope according to any one of claims 5 to 16, wherein the first member includes a first electron beam transmissive aperture having a diameter in a range of $100\ \mu\text{m}$ to $400\ \mu\text{m}$.
18. A microscope according to claim 17, wherein the first aperture has a diameter of substantially $200\ \mu\text{m}$.
19. A microscope according to any one of claims 5 to 18, wherein the first aperture has a depth in a range of $0.5\ \text{mm}$ to $1.5\ \text{mm}$.
20. A microscope according to claim 19, wherein the first aperture has a depth of substantially $1\ \text{mm}$.

WO 02/086942

PCT/GB02/01901

~ 24 ~

21. A microscope according to any one of claims 5 to 20, wherein the second aperture member includes a second electron beam transmissive aperture having a diameter in a range of 200 μm to 800 μm .
22. A microscope according to claim 21, wherein the second aperture has a diameter of substantially 500 μm .
23. A microscope according to claim 21 or 22, wherein a diaphragm including the second aperture is retained in position in the second aperture member by means of a circlip.
24. A microscope according to claim 21, 22 or 23, wherein the second aperture is provided in a diaphragm fabricated from at least one of platinum and molybdenum.
25. A microscope according to any one of claims 5 to 24, wherein the second aperture member includes a plurality of radial holes for gaseously communicating an inside region of the second member with the intermediate pressure cavity.
26. A microscope according to claim 25, wherein the plurality of holes are angularly equi-spaced.
27. A microscope according to claim 25 or 26, wherein the plurality of holes comprises eight holes.
28. A microscope according to claim 25, 26 or 27, wherein each of the plurality of holes has a diameter in a range of 0.8 mm to 1.1 mm.
29. A microscope according to claim 28, wherein each of the plurality of holes has a diameter of substantially 1 mm.

WO 02/086942

PCT/GB02/01901

- 25 -

30. A microscope according to any one of claims 2 to 29, wherein the carrier member is retained in the objective lens by means of cold fitting.
31. A microscope according to any one of claims 5 to 30, wherein the first aperture member includes a slot feature for engaging with a tool when installing or removing the first member from the carrier member.
32. A microscope according to any one of claims 5 to 31, wherein the second aperture member comprises a plurality of flats on its exterior surface for engaging with a tool when installing or removing the second member from the carrier member.
33. A microscope according to claim 4, wherein the detecting means is in the form of an annular detector attached to the lower plate and presenting a detecting surface orientated towards the sample.
34. A microscope according to claim 4, wherein the lower plate is fabricated from at least one of aluminium and duraloy.
35. A microscope according to claim 4, wherein the detecting means comprises at least one of an electron sensitive photodiode, a microchannel plate, a scintillator-photomultiplier tube combination and an electrically isolated conductor plate.
36. A microscope according to any preceding claim, wherein the electron optical means includes one or more of a thermionic tungsten wire electron emitter, a thermionic lanthanum hexaboride electron emitter and a thermal field emitter for generating the electron beam for use in generating the probe.



2/6

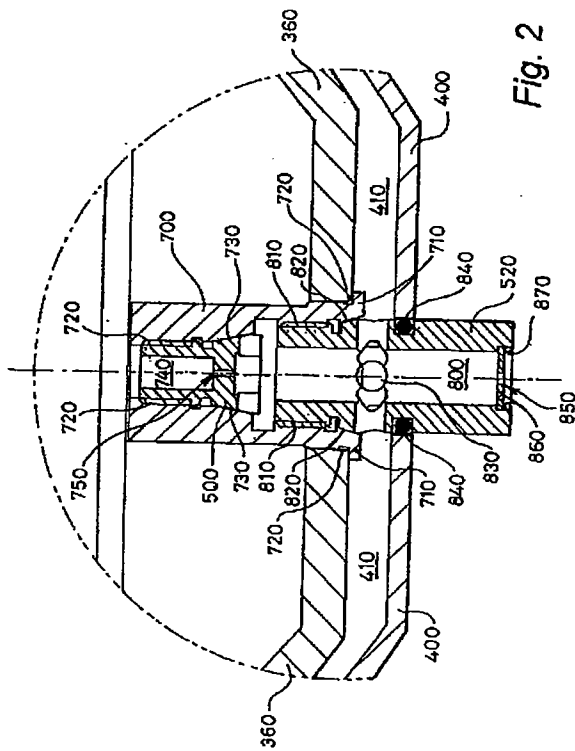
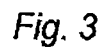


Fig. 2

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

3/6

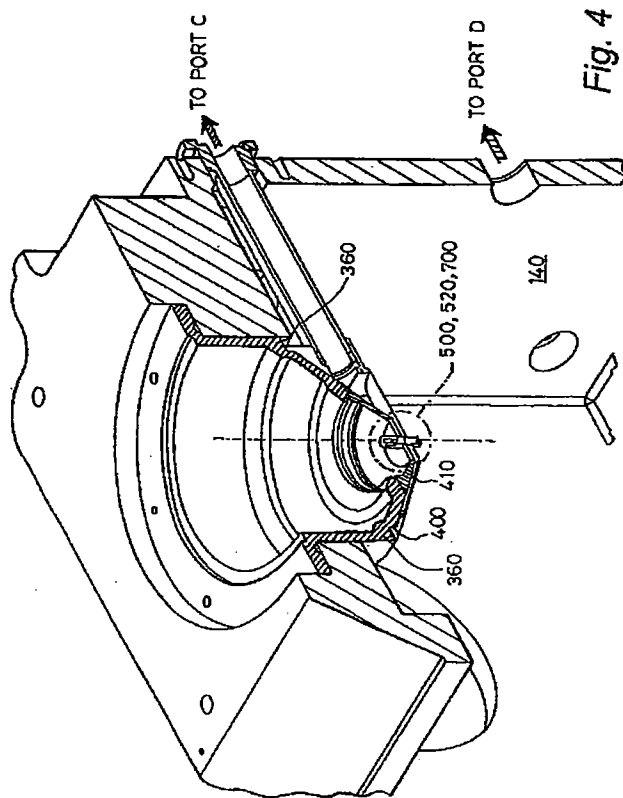


SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/086942

PCT/GB02/01901

4/6



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/082942

PCT/GB02/01901

5/6

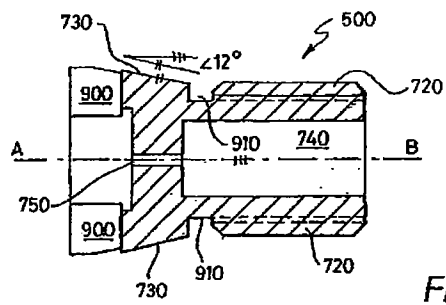


Fig. 5

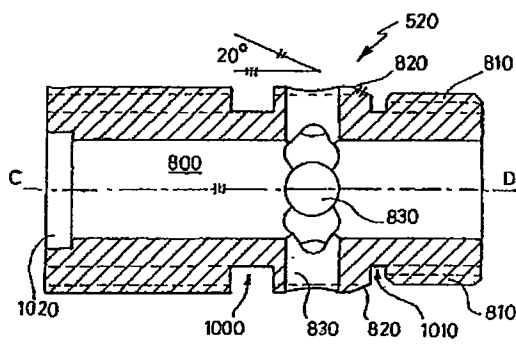


Fig. 6

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

6/6

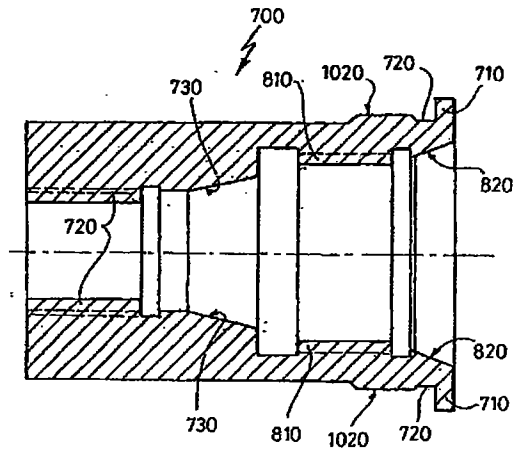


Fig. 7

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/GB 02/01901
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 H01J37/28 H01J37/301		
According to International Patent Classification (IPC) to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Magnetic Documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 H01J		
Documentation searched other than magnetic documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data bases consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) WPI Data, PAJ, EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim no.
A	US 5 250 808 A (DANILATOS GERASIMOS D ET AL) 5 October 1993 (1993-10-05) cited in the application column 4, line 41 -column 6, line 27; figures	1
A	US 5 828 064 A (KNOWLES W RALPH) 27 October 1998 (1998-10-27) abstract; figures	1
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the codification of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "C" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claims or which is cited to establish the publication date of another claim or other special reason (as specified) "O" document relating to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later documents published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "A" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 17 September 2002		Date of mailing of the international search report 24/09/2002
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. Box 1, Patentstrasse 2 7430 Jena, Germany Tel. (+31-70) 240-2240, Te. 01 651 651 651 Fax (+31-70) 240-2010		Authorized officer Schaub, G

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

National Application No.

PCT/GB 02/01901

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5250808	A	05-10-1993	US 4785182 A	15-11-1988
			US 4823006 A	18-04-1989
			AT 86409 T	15-03-1993
			AU 603226 B2	08-11-1990
			AU 1790088 A	21-12-1988
			CA 1293337 A1	17-12-1991
			CN 1031154 A ,B	15-02-1989
			DE 3878828 D1	08-04-1993
			DE 3878828 T2	09-06-1993
			EP 0314763 A1	10-05-1989
			EP 0330310 A2	30-08-1989
			ES 2007856 A6	01-07-1989
			IL 86430 A	16-02-1992
			JP 1502225 T	03-08-1989
			JP 5032860 B	18-05-1993
			KR 9705031 B1	11-04-1997
			MX 174400 B	13-05-1994
			RU 2020643 C1	30-09-1994
			WO 8809564 A1	01-12-1988
			US 4897545 A	30-01-1990
			US 4880976 A	14-11-1989
			ZA 8803273 A	11-11-1988
			AT 89951 T	15-06-1993
			AU 2834589 A	24-08-1989
			CA 1310141 A1	10-11-1992
			CN 1039324 A ,B	31-01-1990
			DE 68906686 D1	01-07-1993
			DE 68906686 T2	16-09-1993
			ES 2040992 T3	01-11-1993
			JP 1309243 A	13-12-1989
			JP 2674603 B2	12-11-1997
			KR 172938 B1	01-02-1999
			RU 2039394 C1	09-07-1995
US 5828064	A	27-10-1998	JP 2002516018 T	28-05-2002
			EP 0786145 A1	30-07-1997
			WO 9707525 A1	27-02-1997

From PCT/GB02/01901 (patent family member) (July 1992)

フロントページの続き

(74)代理人 100098316

弁理士 野田 久登

(74)代理人 100109162

弁理士 酒井 將行

(72)発明者 ディーン, マイケル・フランク

イギリス、シィ・ビィ・5 9・ビィ・ビィ ケンブリッジ、ウォータービーチ、デニー・エンド
・ロード、56

(72)発明者 マーティン, ジャイルズ・アダム・エドワード

イギリス、シィ・ビィ・8 8・ビィ・エル サフォーク、ニューマーケット、セント・ジョーン
ズ・アベニュー、44

【要約の続き】

含み、これにより、高真空走査型電子顕微鏡として、および環境制御型走査型電子顕微鏡としてもRSEM(100)を再構成可能にすることができ、RSEM(100)が、アパーチャ部材を0個、1個(500, 750)および複数個(500, 750, 520, 850, 860)含むよう再構成可能である、という点で区別される。